

ISSN 2433-7196

# MANGROVE SCIENCE

Vol.7 2010



日本マングローブ学会  
Japan Society for Mangroves

編集委員会

委員長：鈴木邦雄

委員：飯島倫明、大田克洋、皆川礼子、持田幸良

Sanit Aksornkoae, Gordon S. Maxwell

---

# MANGROVE SCIENCE

---

日本マングロープ学会  
Japan Society for Mangroves

第七卷  
2010年6月

## 目次

### 総説

- 中村武久：マングロープ研究の目指すところ ..... 1
- 河合省三：ヒルギ属マングロープ樹に発生するカイガラムシ類 ..... 9
- 松田義弘：マングロープ環境を支える物理過程 ..... 19

### 原著

- 大田克洋、皆川礼子、中村武久：タイ国における *Sonneratia* 属4種の髄腔の形態に関する新知見 ..... 29
- 皆川礼子、松本 定：タイのマングロープ林に分布するシダ植物とその生育特性 ..... 37
- 特別講演（平成21年度第15回大会特別講演）

- Nittharatana Paphavasit, Ajcharaporn Piumsomboon and Itchika Sivaipram: Ecological Assessment on the Success of Mangrove Restoration in Pak Phanang Bay, Nakhon Si Thammarat, Southern Thailand ..... 45
- Siriwan Siribon, Nittharatana Paphavasit, Busarin Bangkaew and Chanettee Milintangul: Assessment of Community Capacity to Sustain the On-going Mangrove Rehabilitation Programme in Park Phanang Bay, Nakhon Si Thammarat Province, Southern Thailand ..... 59

### 資料

- 総会報告 ..... 71
- 平成21年度（第15回）大会プログラム ..... 75
- MANGROVE SCIENCE 投稿規定・執筆要領 ..... 76



## マングローブ研究の目指すところ

中村武久

### The objectives of the future research for Mangroves

Takehisa NAKAMURA

**Abstract:** For the last three decades, numerous research projects have been conducted on mangroves by Japanese scientists. At present, there are on lot of available information of mangroves. However, the actual aspects for the long-term existence of the mangrove forests must be continuously studied at intervals of 10 - 20 years. And one of the most important aspects that need to be studied is the succession of mangrove ecosystem.

**Keywords:** Mangrove flora, Vegetation profile, Ecosystem, Succession,

#### 緒言

1970年代後半から始まった、我が国研究者によるマングローブ研究は、分類学、生態学、生理学等の生物学的研究はもとより、海水科学、地形学、土壌学、気象学等の環境科学的研究をも含み、それらを総合包括する生態系科学として展開されてきた。

もちろんこれらの近代的研究は、先人による過去の研究が土台になっていることは言うまでもない。1920年頃の小倉謙博士による我が国最初の研究は、マングローブ植物の根系や胎生種子という特殊な形態と、浸透圧の高い海水域に生育する熱帯由来の珍しい植物であることから、沖縄に分布するマングローブは国の天然記念物に指定され、保護植物として一般に認識されるようになり、また植物学的関心はその後の研究課題を生み、また今日の我々の研究の基礎を築くうえに大きな引き金になっていたのは言うまでもない。

1970年代後半に始まった日本人科学者による草創期のマングローブ研究については、本誌 Vol.3 の杉二郎先生追悼号に詳しく紹介した。またそれに続く研究は、組織的な大がかりなものから、個人的な小規模研究などまで、その数は正確に把握していないが、500件を越えているものと思われ、その内容は極めて多岐にわたっている。

分類学で言えば、DNA解析による種レベルの系統分化が或る程度判明していることや、それほど多くないマングローブ植物種のなかにあつて、最近新種記載が行われたものがあるなど、世界のマングローブ植物の分類は、ほぼ確立されているかのように見える。

また植生学の面では宮脇らによって行われたタイ国におけるマングローブ植生の群落単位の解明は、その後の植生研究の土台となっているのは言うまでもなく、また別に環境科学的研究の一例として、松田らによって行われたマングローブ域における潮汐とその影響に関する物理学的な

研究も、先年ほぼ集大成されている。

こうして分野別にみると、それぞれが先進的な研究として確立されてきたかに見える。しかし、本来このマングローブ研究の目指したものは、熱帯林の一つとして荒廃、喪失する現状を救うべく起こった学際的研究である。本格的なマングローブ研究が始まって40年に及ぶ今、果たして当初の目的がどこまで達成されたのか、その検証の一つとして生態系の成立と維持に関する問題を取り上げてみた。

#### 1. マングローブ構成種とその変化

維管束植物の生育制限要因となる海水域という特殊な条件下に生育するマングローブ植物は、自ずからその種類が限定されるのはいうまでもない。ただしその限定される種類がどこまでの範囲かについては様々な考えがある。

第一はその生育立地の限定要因によるもの (Semeniuk 1980)、また群落のゾーネーション構成の種類に関するもの (Lugo & Snedaker 1974)、またそれらを総合してマングローブ形質を階級区分したもの (Tomlinson 1980) (Watson 1928) (Nakamura 1990) などがあり、それぞれの規準に基づいて見ると、マングローブ植物の種の数え方は異なってくる。

この区分によって東南アジア太平洋地域のマングローブ植物を数えてみると、表2のようになる。この真性マングローブ種 (strict mangrove) の内、*Sonneratia alba* と *Sonneratia caseolaris*、また *Avicennia alba* や *Rhizophora mucronata* の4種は塩濃度は別として、満潮時には必ず水に浸かる条件のなかに生育している。

ところが前者と同様、普通には群落の前面か或いは満潮時に必ず水に浸かる場所に見られる *Rhizophora apiculata* や *Avicennia officinalis*、また *Ceriopus tagal* などの種類は、時にマングローブ後背域の陸化が進んだ場所でもみることが珍しくない。これは言うまでもなく、常に浸水する場所で

Tab. 1 Rank of mangrove characteristics (1990)

	Matters	Rank
Root	Pneumatophore	4
	Stilt-root or Geniculate root	3
	Buttress root or minor stilt root	2
	Barely root	1
Fruit	Complete viviparous seed	3
	False viviparum	2
	Advanced germination in the fruit	1
Habitat	Flooded with sea-water, 1-2 times per day	3
	Occasionally flooded, sea-water into underground	2
	Almost no flooded but strong saline soil	1
Frequency	75%~4, 50-75%=3, 25-50%=2, ~25%=1	

10~: Major Mangrove, 7-9: Sub Mangrove, 4-6: Minor Mangrove

生育していたものが、その立地の陸化が進んでも、そこに生き残ったものと考えられる。すなわちその個体または種の寿命が維持できる最低の条件がそこに残存すると考えて良い。

一方、根の形態は一般の陸上植物と同じで、また胎生種子も持たないことなどから、亜マングローブ種にも数えられるツノヤブコウジ *Aegiceras corniculata* は、常にマングローブ群落の最前面の浸水域に生育していて、マングローブ後背の陸化した地域に見られることはない。一般に階級区分値の高い純マングローブ種より区分値の低い亜マングローブ種ないし従マングローブ種のほうが、マングローブ立地条件が減退している後背の陸化した環境でも生き残れるものと考えられるが、この *Aegiceras* の場合は、そのような関係にならないという例である。

こうした問題はマングローブを構成する種や個体が、環境の変化への適応能力が画一的でないことを物語っているものであり、さらにはその環境適応に要する時間的な差異があると考えられる。

もともと感潮域に進出してきたマングローブ植物の進化の過程を考えると、一つの種が分布を広げていく過程で、どんな遺伝子が強く働くようになるか、弱くなるか、その能力は明らかでないにせよ、世界に広く分布するオヒルギ *Bruguiera gymnorhiza* の地域個体群の例をみると、中近東から東南アジアに分布する個体群は2地域由来の遺伝子を持っている個体群であるといわれている(山崎 2008)。

マングローブ植物は、ある種過酷な環境で生育している植物であるから、その長短があるにせよ、長い年月の間に種としての分化が起こっているのである。それも比較的安定している環境の陸に分布する植物のように、何千年とか何万年という単位でなく、短いものでは50年~100年単位で分化が起こっているものがあるのではない。

1804年フランスのLamarckによって識別されていた *Rhizophora mucronata* が、南太平洋を東方に、また北上して分布を広げたものが *Rhizophora stylosa* として区分されるようになったのが1851年頃であるから、これはその間

に分化が起こったという証拠はないが、少なくともフィジーやサモアをはじめ、日本の沖縄のものが、東南アジアに古くから広く分布する *R. mucronata* に比べて、花序の花が小形で少ないことや、めしべの花柱が長く伸びているなどの形質が安定してきたことから、その区別が出来るようになった筈である。ちなみにMicronesiaのPohnpei島やChuuk島などでは、両種が分布しており、中にはどちらも区別出来ない形質の個体もある。

従来分類学では、はじめ同種として扱われていたものが、何十年か経過して、2種に分類されることがよくある。それらの全てがそうではないにせよ、その例のいくつかは、長い年月の間に分化し、その形質が安定してきたため区別出来るようになったはずである。殊に自然雑種として起源した新しい種は、まさに新しい分化の例である、その要因は環境の変化に因る場合が少なくない。

すなわちマングローブでは、過酷な生育環境であるだけに、その植生を構成する種類が生態的に侵入や喪失によって変化するのとは別に、比較的短い年月のなかで種の分化も起こっていると考えなければならないのである。

## 2. 植生遷移の速度

マングローブ林の生態学的研究として、植生遷移に関する研究は数多くある。しかしそれらの研究成果は、地域的、局所的であり、限られた遷移過程の一部を明らかにしたものであるに過ぎない。

1981年から1983年の3年間、宮脇昭らによって行われた、タイ国沿岸部のマングローブの植生生態学的研究によって、当時のタイ国マングローブ植生の群落単位が詳細にわたって記載された。その区分された群集、群落は合計22群落である(宮脇ほか1985)。

この宮脇らの研究の中で、主にバンガ湾沿岸部にみられる植生単位、特に主要マングローブ種によって構成されている植生単位をあげると、1) *Sonneratia albae* - *Avicennium albae* (マヤブシキーウラジロヒルギダマシ群集)、2) *Rhizophoretum mucronatae* (オオバヒルギ群集)、3) *Rhizophora apiculatae* - *Bruguieretum gymnorhizae* (フタゴヒルギ-オヒルギ群集)、4) *Rhizophora apiculata* community (フタゴヒルギ群落)、5) *Ceriopo* - *Xylocarpetum granati* (コヒルギー-ホウガンヒルギ群集)、6) *Acrostichon* - *Xylocarpetum moluccensis* (トガリバミモチシダー-ニスホウガン群集)、7) *Acantho* - *Finlaysonetum maritima* (ミズヒイラギ-ウミベガガイモ群集)、8) *Nypetum fruticantis* (ニッパヤシ群集)の8群落単位である。

これによって世界のマングローブ植生の種類構成はもちろん、生態的植生構造の類形が列挙されたのである。従って以後のマングローブ研究には、その植生構造の類形を土台として様々な研究が展開されてきた。

中村らその後行ったミクロネシア島嶼でのマングローブ植生研究も、その宮脇らのタイにおける植生区分をモデ

Tab. 2 Ecological rank of mangrove species in Southeast Asia and South Pacific area.  
(Except Orchidaceae and Grasses) (Nakamura 1985 a part of rearranged)

(Family)	(Genus)	(Species)	Root	Vivip.	Habit	Freq.	Rank
ACANTHACEAE	Acanthus	3	-	-	3	3	6 △
APOCYNACEAE	Cerbera	2	+	-	2	2	4 △
ASCLEPIDACEAE	Cynanchum	1	-	-	2	2	4 △
	Finlaysonia	1	-	-	3	4	7 ○
	Hoya	1	-	-	2	3	5 △
COMBRETACEAE	Combretum	1	+	-	2	2	4 △
	Lumnitzera	2	3	-	3	3	9 ○
COMPOSITAE	Wedelia	1	-	-	1	2	3
EBENACEAE	Diospyros	2	+	-	1	2	3
EUPHORBIACEAE	Excoecaria	1	+	+	2	4	7 ○
	Sapium	1	-	-	1	2	3
FLAGELLARIACEAE	Flagellaria	1	-	-	2	2	4 △
LECYTHIDACEAE	Barringtonia	2	+	+	2	2	5 △
LEGUMINOSAE	Caesalpinia	2	-	-	2	2	4 △
	Derris	3	-	-	2	3	5 △
	Intsia	1	-	-	2	3	5 △
	Pongamia	1	-	-	1	2	3
	Pemphis	1	+	-	2	2	4 △
LYTHRACEAE	Hibiscus	1	+	-	1	3	4 △
MALVACEAE	Thespesia	1	+	-	1	3	4 △
	Melastoma	1	-	-	1	2	3
MELASTOMACEAE	Amoora	1	3	1	3	1	8 ○
MELIACEAE	Xylocarpus	3	3	+	3	4	10 ●
MYRSINACEAE	Aegiceras	1	1	2	3	4	10 ●
MYRTACEAE	Melaleuca	1	+	-	1	3	4 △
PALMAE	Nypa	1	1	1	3	4	9 ○
	Phoenix	1	+	-	2	2	4 △
PANDANACEAE	Pandanus	2	3	-	2	1	6 △
PLUMBAGINACEAE	Aegialitis	1	3	3	3	1	10 ●
RHIZOPHORACEAE	Bruguiera	5	2	3	3	3	11 ●
	Ceriopus	2	2	3	3	4	12 ●
	Kandelia	1	2	3	3	2	10 ●
	Rhizophora	3	3	3	3	4	13 ●
	Guettarda	1	+	-	1	2	3
RUBIACEAE	Scyphiphora	1	2	2	3	3	10 ●
RUTACEAE	Paramingnya	1	+	-	2	2	4 △
SAPINDACEAE	Allophylus	2	-	-	1	2	3
SONNERATIACEAE	Sonneratia	4	4	+	3	4	11 ●
STERCULIACEAE	Heritiera	2	2	-	2	3	7 ○
TACCACEAE	Tacca	2	-	-	1	2	3
VERBENACEAE	Avicennia	3	4	1	3	4	12 ●
	Clerodendrum	1	-	-	2	2	4 △
	Premna	1	-	-	1	2	3
ZINGIBERACEAE	Globba	1	-	-	1	2	3
PTERIDOPHYTA	Acrostichum	2	1	-	3	4	8 ○
	Davallia	2	-	-	E	3	3
	Drynaria	2	-	-	E	3	3
	Nephrolepis	2	-	-	E	3	3
	Phymatodes	2	-	-	E	2	2
	Platynerium	1	-	-	E	2	2
	Stenochlaena	1	-	-	E	3	3

● Strict Mangrove

○ Sub Mangrove

△ Minor Mangrove



Fig. 1 バンジー川上流の枯れかかった *Avicennia-Sonneratia* 林 (1981)



Fig. 2 左と同じ site (2009)

ルとして区分し、島嶼におけるマングローブ植生単位として新たに3群集を記載した(中村 & 鈴木 1984, 1986)。

筆者は先の宮脇らのチームに加わり、更に1985年以降今日まで、毎年タイ国のマングローブへ出かけ、様々な研究調査を行うなかで、時によって植生調査も行って来た。

その最近の調査結果と、10年ないし30年前のバンガのマングローブ植生を比較してみると、構成種並びに群落構造が著しく変わっている場所が各所に見られる。

1981年杉・中村らのタイ国におけるマングローブ研究を始めた頃、バンガ地域バンジー川の上流、バンガリゾートホテルから500mほど下った所、川が分岐して三角州になったところに、砂が堆積して根木が砂に60~70cm埋もれて枯れかかった *Avicennia alba* - *Sonneratia alba* 混生林があった (Fig. 1)。30年後の2009年の調査では、この地は全く変わった植生、すなわち *Rhizophora mucronata* - *Avicennia officinalis* 林となっている (Fig. 2)。この30年間毎年その植生を眺めてきたが、これは決して人為的に植栽されたものではなく、前植生の *Avicennia alba* - *Sonneratia alba* 林が枯れた後の前面水際に *Rhizophora mucronata* の実生が始まり、やがてそのなかに *Avicennia alba* や *Sonneratia alba* などの実生が混じって生育を始めたが、内側に残っていた *Avicennia officinalis* がいつの間にか目立つようになり、そして30年後の現在前面植生としては、*Rhizophora mucronata* と *Avicennia officinalis* を主体とする植生になっている。これは即ち30年の経過によって、全く植生構成種が交代し、また植生構造も変わったという一例である。

次に示すのは、短期間で植生構造が変わっていく問題である。上記と同じバンジー川の中流域、バンジー島(村)から1Km程上流の右側に500mぐらい続く *Sonneratia alba* の前面群落がある。1999年、学生の卒業論文のテーマの一つに「*Sonneratia alba* の繁殖生態に関する研究」を設け、その研究場所としたのがこのサイトである (Fig. 3)。当時ここでは *Sonneratia alba* の実生群落があり、それもそ

の前年の8月に一斉発芽したものであった。すなわちここでは、その実生の分散密度、成長量などを調査して、近くに生育する成木が親木であるかどうか、どのようにして一斉実生が起こったかなどを研究させた。その研究結果を述べるのではないが、10年後の2009年3月、同じ場所の *Sonneratia alba* 林 (Fig. 4) を観察したところ、樹高12m、間違いなく *Sonneratia alba* の優占林であるが、中に同じ程度に生育している *Avicennia alba* が僅かではあるが混生している。

これは僅か10年間(正確には11年)で12m、と言え、年平均1m以上成長したことになり、さらには *Sonneratia* 純林とは言え他の種類も混じっているのである。すなわち10年というスパンでも目に見える変化が起こっているのである。

一般に50年とか100年という単位で群落が変化していくのは理解できるが、このように僅か10年か20年という単位での変化は、これこそマングローブならではの变化ではないだろうか。すなわちマングローブ環境に成立している植生は、極めて早い速度で遷移が起こっているのである。その遷移が植生の成熟方向への遷移であれば、やがてはマングローブ林としてではなく、陸化が進んだ海岸林、湿地林などの陸上森林への遷移である。また仮に衰退方向への遷移であれば、それは遷移とは言い難く、むしろ植生崩壊と言うべきである。

すなわち、マングローブ植生が維持されているのは、自然であれ人為的であれ、立地環境が変化することにより、それに応じた植生遷移を繰り返すことこそが重要な要件ではないだろうか。

### 3. 10年20年単位の動態累積としての生態系研究を

マングローブ植生動態、即ち遷移のパターンを明らかにしようとした研究の一例に、マングローブ植生記分とその成立立地を示したものがある (Fig. 5)。これはタイ国半島



Fig. 3 バンジー川の中流の *Sonneratia alba* の実生群落 (1999)



Fig. 4 左と同じ site (2009)

部バンガ湾の奥に流れ込むバンジー川流域のマングローブ植生の植生単位、すなわち調査によって分類記載された群落単位を、河口からその河川の上流へ向かって配分されている様子と、川の縁即ち水際からマングローブ林の奥へ向かっての群落配分が示されたものである。

Fig. 5 は、マングローブの主要構成種である *Sonneratia alba*, *Avicennia alba*, *Avicennia officinalis*, *Rhizophora mucronata*, *Rhizophora apiculata* がそれぞれ関与する植生単位のバンジー川流域における配分分布である。但し具体的には、このマングローブ前面群落はこの図とは違い、*Sonneratia-Avicennia* 群落の場合もあるが、前面が

*Rhizophora mucronata* 群落となる場合もある。すなわち河口下部（下流）・流水側の部分は、その両者の配分は立地条件によって異なるので、図の上からはその両群落を同じ枠内に入れる必要がある。ともあれ、今から 30 年前のバンジー川流域のマングローブでは、概ねこのような分布配分であった。

しかし、現在のバンジー川流域のマングローブ林における植生配分がどうかという点、前面群落は前記のように、立地条件、すなわち遠浅になった立地では *Sonneratia-Avicennia* 群落、また水際が潮になっているところには *Rhizophora mucronata* 群落が成立しているが、それより後

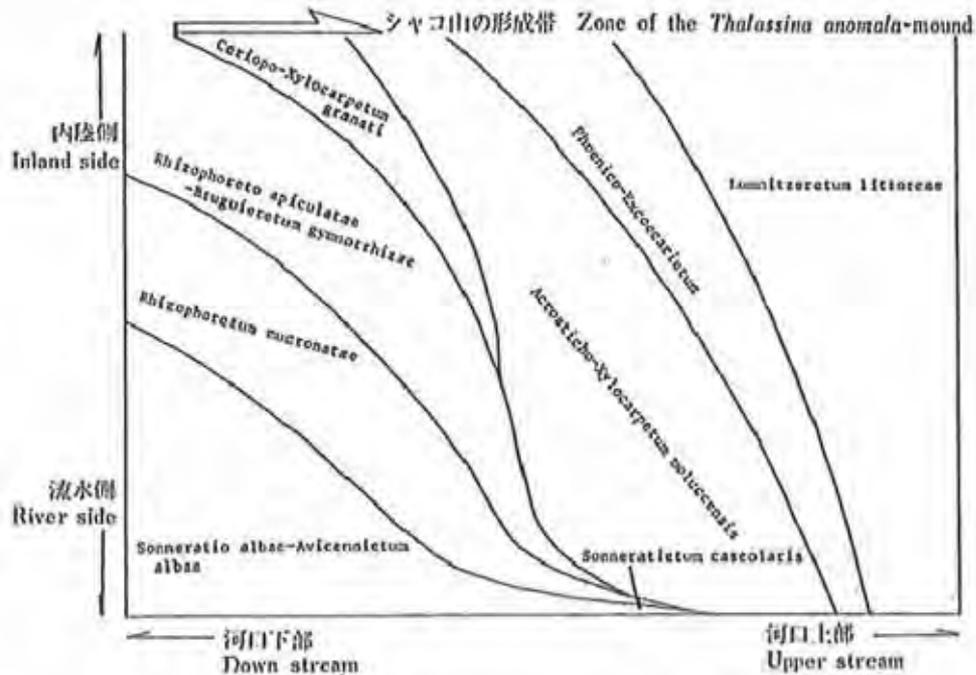


Fig. 5 タイ国のマングローブ林における群落の配分・分布

背域の林内群落では、この図のような群落配分されているものは少なくなっている。むしろその後背域、特に上流域のマングローブ林では、別の群落単位の植生が現出している。今それをここに図示できないが、それはケランガスであったり、ピオトープとして、幾つかの群落植生が記録されている。

30年前のマングローブ植生配分と、30年後の今の植生配分を仮に図示出来たとしてもそれは単に現状を示すまでである。問題はこの30年間にどのような過程、経過を経てきたか、その動態こそ我々が知らねばならない最重要課題である。

#### 4. まとめ

今まで文科省の科研費補助金は、その研究期間が標準3年単位で行われてきた。植生遷移または変化が極めて短いといえるマングローブ生態系においても、上記のように少なくとも10年20年単位での継続観察研究が必要である。地球上に現存する各種の生態系は何千万年何億年という長い年月のなかで培われ続いてきた。その変化の過程・継続を正確に把握したとき、はじめて地球上の生物の生きてきた仕組みが解明されるはずである。

1970年代に積極的に始まった。オーストラリアやアメリカ、ヨーロッパ諸国のマングローブ研究。また1980年初頭からの日本人研究者による優れたマングローブ研究は、何れも近代的な科学的手法を駆使した研究であり、それぞれ重要な科学的情報となっているのは言うまでもない。

宮脇・鈴木らによる植生構造・単位の類型化研究、荻野・田淵らによるマングローブ生物生産に関する研究、杉・中村・倉石・矢吹らによる生理生態学的研究、九茂・桑原・諸喜田等による海洋生物学的研究、馬場・宮城・藤木・長野らによる森林生態ないしは環境科学的研究、その他松田・古川らの海洋、潮汐に関する研究は、何れもその優れた研究として特記に値する研究である。

然し問題は、何れの場合もせいぜい2年とか3年という短い期間のなかで行い、また局所的に行った研究であり、今になって思い出せば、これらの研究をもっと長い期間、いわば10年20年という期間に渡って継続していれば、その頃から既に30年40年の年月を経ている今日、世界のマングローブの生態系の動態が明らかになり、マングローブ林の修復再生の試みも遙かに進んでいたのではないだろうか。

もちろん単発的な研究であれ、今までに研究されてきた諸問題が土台となって、それを基に、マングローブ林の植生、修復・復元等の試みが行われており、その成果も幾つか数えられているが、まだまだ本質的な解決、応用とはなっていない。

前述したように、マングローブ生態系を構成している種の分化は、その分類群によって要する年月に差異はあるであろうが、何れも極めて長い期間での変化である。しかし

それとの関係もあるが、植生の動態、即ち生態系の動態としては、かなり短い期間の変化として起こっているのであるから、少なくとも前述するように、10年20年というスパンのなかで、それらの動きを正確に捉えて行くことが極めて重要なのである。

研究の結果を性急に求める研究より、マングローブ研究の将来は、長い期間を掛けて弛まない動態研究こそ、地球環境の中におけるマングローブ生態系の役割が明らかにされるものであり、今後この種の研究に期待するものである。

更に言及すれば、科学研究行政の上から10年20年という長期間の研究費助成は難しさがあるにせよ、まさに自然環境問題に取り組まなければならない今日的な課題は、その困難を乗り越えて、少なくとも10年、20年単位の研究が継続出来る仕組みこそ求められるべきではないか。

#### 参考文献

- Aksornkoae, Sanit (1976) : Structure of mangrove forest at Amphoe Khlong Changwat Chanyaburi, Thailand, For. Res. Bull. 38, Fac. Forestry, Kasetsart Univ., 1-42
- Aksornkoae, Sanit (1985) : Present Status of the Global Mangrove Ecosystem. Ecological Studies on the Vegetation of Mangrove Forest in Thailand, Dep. Vegetation Sci., Inst. of Environ. Sci. and Tech., Yokohama National University, 115-124.
- Chapman, V.J., (1976) : Mangrove Vegetation (1) (2), J. Cramer, 427pp.
- Clough, B.F. (1993) : The Economic and Environmental Values of Mangrove Forest and their Present State of Conservation in the South-East Asia / Pacific Region, Mangrove Ecosystem Technical Report No. 1, ISME, Okinawa Japan, 202pp.
- Duke, N.C., Bunt, J.S. and Williams, W.T., (1984) : Observations on the floral and vegetative phenologies of north-eastern Australian mangroves, Aust. Jour. Bot., 32, 87-99.
- Komiyama, Akira, Hitoshi Moriya, Saneï Ichikawa, Kazuhiko Ogino, Sanit Aksornkoae and Sanga Sabhasri (1985) : Ecological Studies of Mangrove Forest in Southern Thailand - root excavation by the trench and random monolith method -, Ecological Studies on the Vegetation of Mangrove Forest in Thailand, Dept. of Vegetation Sci. Inst. of Environ. Sci. and Tech., Yokohama National University, 136-146.
- Lugo, A.E., and Snedaker, S.C., (1974) : The ecology of mangroves. Ann. Rev. Ecol. Syst. 5, 39-64.
- Lugo, A.E., (1980) : Mangrove ecosystem successional or steady state, Biotropica 12 (suppl.), 65-92.
- MacNae, W., (1968) : A general account of the fauna and flora of mangrove swamps and forest in the Indo-West-

- Pacific Region, *Adv. Mar. Biol.* 6, 73-270
- Mark Spalding, Francois Blasco and Colin Field(Eds) (1997) : *World Mangrove Atlas*, ISME Japan, 178pp.
- Mazda, Yoshinoro, Eric Wolanski, Peter V. Ridd, (2007) : The role of physical processes in mangrove environments, *Manual for the preservation and utilization of mangrove ecosystems*, TERRAPUB, 598pp.
- 宮脇昭, 奥田重俊, 鈴木邦雄, 藤原 絵, 中村幸人, 村上雄秀, 大野啓一, 鈴木伸一, Sanga Sabhasri (1985) : タイ国マングローブ林の植生学的研究, タイ国マングローブ林の植生生態学的研究, 横浜国立大学環境科学研究センター植生学研究室 (科研費海外学術 1982-1984 報告書), 1-100.
- Miyawaki, Akira, Sanga Sabhasri, Sanit Aksornkoae, Kunio Suzuki, Shigetoshi Okuda, Kazuo Fujiwara, (1982) : Phytosociological Studies on the Mangrove Vegetation of Chanthabri, *PROCEEDINGS Rattanakosin Bicentennial Joint Seminar Science and Mangrove Resources*, 49-56.
- Moriya, Hitoshi, Akira Komiyama, Vipak Jintana, Kazuhiko Ogino, (1985) : Ecological studies of mangrove forest in southern Thailand - leaf dynamics of several key species - Ecological Studies on the Vegetation of Mangrove Forest in Thailand, *Dept. of Vegetation Sci.*
- 中村武久, 中須賀常男 (1998) : マングローブ入門 (株) めこん, 168pp.
- 中村武久, 鈴木邦雄, 楢垣宮都 (1985) : タイ国マングローブ植生の群落区分と群落構造 - 1. Ranong および Phang-nga を中心として, タイ国マングローブ林の植生生態学的研究, 横浜国立大学環境科学研究センター植生学研究室 (科研費海外学術 1982-1984 報告書), 101-114.
- 荻野和彦 (1985) : 南タイのマングローブ林の現存量研究, マングローブ研究, 東京農業大学総合研究所, 30-38.
- Ogura, yuzuru, (1940) : On the types of abnormal roots in mangrove and swanp plants, *Bot. Mag. Tokyo*, 54, 389-404.
- Santisuk, Thawatchai, Pipat Patanaponpaiboon, Amorn Ubolcholaket, (1982) : Observation on Ecological Distribution of Mangrove Plants in the Tidal Mangroves (back-mangroves) in Thailand, *PROCEEDINGS Rattanakosin Bicentennial Joint Seminar on Science and Mangrove Resources*, 191-201.
- Semenik, Y., (1980) : Mangrove zonation along on eroding coastline in King Sound, Northwestern Australia, *Jour. Ecol.*, 68, 789-812.
- Sheue, Chiou-Rong, Liu Ho-Yih, and Yong, Jean W.H., (2003) : *Kandelia obovata* (Rhizophoraceae), a new species from Eastern Asia. *TAXON* 52, 287-294.
- Smittinand, Tem, (1976) : Comparative studies on the present condition of mangrove forest in Thailand. *Proceeding 1st Thai Nat. Sem. Mangrove Ecol.*, Puket 1(2), 216-221.
- 杉二郎, 中村武久, 他 (1990) : 東南アジアのマングローブ—その生態と生理—, 東京農業大学総合研究所 (科研費海外学術 1985-1987 報告書), 168pp.
- Tomlinson, P.B., (1986) : *The Botany of Mangroves*, Cambridge University Press, 413pp.
- Wada, Hidenori and Toshihide Nagano, (1985) : Features of the soil-water-plant relationship of Mangroves in Phangnga, Thailand, *Ecological Studies on the Vegetation of Mangrove Forest in Thailand*, *Dept. of Vegetation Sci. Inst. of Environment Sci. & Tech.*, Yokohama National University, 125-135.
- Watson, J.G., (1928) : Mangrove Forest of the Malay Peninsula, *Malay For. Rec.* 6, 275pp.



## ヒルギ属マングローブ樹に発生するカイガラムシ類

河合省三

The Scale Insects Occurring on *Rhizophora* Mangrove Trees in Southeast Asia

Shozo Kawai

**Abstract:** The *Rhizophora* vegetations in Bali and Lombok, Indonesia and in Khanom, Thailand suffered a great deal of damage due to the outbreak of scale insects generated by certain factors. Among these scale insects observed were *Aulacaspis marina* Takagi & Williams; Diaspididae in Bali, *Coccus* sp.; Coccidae, *Aspidiotus* sp.; Diaspididae, *Duplaspidotus* sp.; ditto, *Lindingaspis* sp.; ditto, *Lepidosaphes tapleyi* Williams; ditto, *Fiorinia* spp.; ditto, *Pseudaulacaspis cockerelli* (Cooley); ditto in Lombok, also *Leptococcus* sp.; Pseudococcidae in Thailand. The aspects of outbreak on each site greatly varied with the biological characters of the species and the environmental conditions, respectively. The main factor affecting the outbreaks on each site, however, depended greatly on the reduction of natural enemies by anthropogenic disturbance of environment.

**Keywords:** カイガラムシ, マングローブ, *Rhizophora*, 多発要因, 天敵

## 要旨

ヒルギ属樹木 (*Rhizophora* spp.) に寄生するカイガラムシ類について、インドネシア・バリ島、ロンボック島およびタイ・カノーム (khanom) における多発事例を述べ、多発の要因を考察した。バリ島では *Aulacaspis marina* Takagi & Williams (Diaspididae)、ロンボック島では *Coccus* sp. (Coccidae)、*Aspidiotus* sp., *Duplaspidotus* sp., *Lindingaspis* sp., *Lepidosaphes tapleyi* Williams, *Fiorinia* spp., *Pseudaulacaspis cockerelli* (Cooley) など (いずれも Diaspididae) が、また、タイ・カノームでは *Leptococcus* sp. (Pseudococcidae) の多発が見られた。多発したカイガラムシの生態的特性と発生地の環境条件の違いによって、発生の様相、被害の現れ方は様々であったが、いずれの調査地においても生態的攪乱による天敵の減少がカイガラムシの多発の主な要因となっていることが示唆された。

## はじめに

カイガラムシは果樹や庭木・観葉植物の害虫となっているが、ときにマングローブ樹においても植林地や苗生産地などで、深刻な被害をもたらすことが知られている (河合 1995, 中村 1995, 尾崎 1997)。ここでは、インドネシア・バリ島およびロンボック島ならびにタイ・カノームにおいて、ヒルギ属植物 (*Rhizophora* spp.) に寄生するカイガラムシ類の多発事例を紹介し、多発の要因を考察した。

カイガラムシはカメムシ目・腹吻亜目・カイガラムシ上科 (Hemiptera; Sternorrhyncha; Coccoidea) に属し、アブラムシと近縁の昆虫で世界から 20 科以上、約 7,000 種が知られている。口器は腹面の前脚基部付近にあり、体長よりはるかに長い糸状の吸口 (口針) を植物組織に深く

挿入し、汁液を吸収して寄生生活を営む。しかし、その形態や生態はきわめて変化に富み、寄主範囲や年間発生回数なども種によって大きく異なり、被害の現れ方もさまざまである。

これらは応用上、「有殻カイガラムシ類」(分類学上マルカイガラムシ科 Diaspididae に属す種) と「無殻カイガラムシ類」(マルカイガラムシ科以外の種) に大別される。「有殻カイガラムシ類」では歩行・移動できるのは孵化直後の幼虫のみで、孵化後短時日のうちに寄主植物に定着し、体表から分泌したロウ質物などで寄主植物体上に「介殻」とよばれるかさぶた状の虫体被覆物を形成して一生植物に固着寄生して生活する。一方、「無殻カイガラムシ類」では体表に粉状や糊状のロウ質分泌物をまとう種の他、ほとんど分泌物の認められない種など様々で、多くの種は終生、短距離を歩行・移動することができ、アブラムシ同様に糞と呼ばれる排泄物を排出し、アリと共生する種も少なくない。

カイガラムシにみられる際だった特徴は、雌雄でまったく異なる変態を行い、異なる形態の成虫となることである。雄は形式的には完全変態と同様、前蛹・蛹を経て一刻の翅を具えた成虫となるが、雌は不完全変態で蛹の時代を欠き、幼虫時代の形態と基本的に大差のない無翅の成虫となる。雄の成虫には口がなく、きわめて短命で、羽化後数日のうちに交尾を済ませて隠死するが、雌は成虫になってからも長期間生き続け吸汁・加害する。

これまで、マングローブを含め熱帯アジアのカイガラムシに関する研究は乏しく、今後、調査が進めばさまざまなマングローブ樹種において、未記載種を含む多くのカイガラムシ類の発生と加害の実態が明らかになるものと考えられる。

## 1. インドネシア・バリ島のマングローブ造林地に多発したカイガラムシ

1992年より実施されたJICAとインドネシア政府の共同プロジェクト(インドネシア・マングローブ林資源保全開発現地調査事業)の一環として、造林対象地のひとつとされたバリ島の造林地において、1994年に有殻カイガラムシの一種の多発による植栽木の集団枯死が発生した。このカイガラムシは当初、誤って*Chionaspis*の一種として報告されたが(河合1995)、1998年に*Aulacaspis marina* Takagi & Williamsとして新種記載された。

造林地はベノア湾に面した天然マングローブ林(ここでは造林地以外のマングローブ林を指し、以降、天然林と呼ぶ)の内陸部を伐採して造成されたエビ養殖池の跡地で、約150haの地域が畦によって20~30aの大きさに、現地でタンバック(Tambak)と呼ばれる区画に仕切られる(Photo 1. A)。各タンバックは水口を通じて海水が出入りし、干潮時には地面が露出するが、満潮時には約1mの水深となる。ここに*Rhizophora mucronata* Lam.の実生苗木が2m間隔に植栽され、良好に生長していた。ところが植栽木(3年生)の樹高が約1.5mに達し、葉層が満潮線を越えた1994年8月ころから*A. marina*の寄生・加害が見られるようになり、その被害は急速に進行して1995年2月には植栽木の大部分は枯死するにいたった(中村1995)(Photo 1. B)。

### 1. 多発したカイガラムシの形態と生態

#### 1) *Aulacaspis marina* (マルカイガラムシ科)

##### ①形態

雌の介殻は白色で、新鮮なものはやや光沢があり、扁平でゴマ粒形、大きさ2.5mm内外、先端部に褐色の1、2齢幼虫の脱皮殻が付着する。介殻下の虫体は長楕円形で橙黄色。雄の介殻は雪白色で脆く、小型で細長く大きさ1mm内外、両側はほぼ並行で背面に3本の縦の隆起がある(Photo 1. C, D)。

##### ②生態

孵化幼虫は1-2日親介殻下に留まった後、介殻下から這い出して短時間のうちに葉の両面および若い枝に定着し、口針を挿入して吸汁すると同時に背面に分泌物で介殻を形成し始める。いったん定着した幼虫は2齢以降脚を失い、雄成虫を除き終生移動することはない。雄の孵化幼虫は集合性を有し親介殻の付近に集団をなして寄生するが、雌は積極的な集合性を示さず広く分散・移動する傾向がある。しかし、密度が高いときは雌も群生するようになる。雌1頭の平均産卵数は141卵で、孵化してから産卵を始めるまでの期間は平均37日であり、バリでの年間世代数は9-10回に及ぶと考えられ、きわめて繁殖能力の高いことがうかがえる(尾崎1998, Ozaki et al. 1999)。

寄主植物としては*R. mucronata*の他、*R. apiculata* Blume, および*Bruguiera gymnorrhiza* (L.) Sav.などヒルギ

科樹木が知られている。これら3樹種の苗木に孵化幼虫を接種して寄主選好性を調査した結果では、樹種間に差異は認められなかった(Ozaki et al. 1999)。本種はかなりの耐塩性を持つと考えられるが、一定時間水面下になる部位、条件下では寄生・発育できないことが確認されており(中村1995)、激発は造林地に植栽され樹高が満潮線を越えた幼木に限定される。一方、激発のみられた造林地付近の天然林における生息密度はきわめて低く、林内に発生した幼木にもまったく被害は認められなかった。また、天然林内で観察できた個体には捕食性天敵によると思われる食痕や寄生蜂の脱出孔が見られ、生存個体はほとんど発見できなかった。

本種の移動・分散が可能な時期は孵化直後のごく限られた幼虫期間のみであり、自力で歩行できる範囲はごく限られている。樹木間など広い範囲へのカイガラムシの拡散は通常、孵化幼虫が風で飛ばされたり、鳥の脚や人間の衣服に付着して運ばれたりするほか、さらに広範囲への拡散には苗木とともに運ばれる人為的な力が重要な役割を果たしている。しかし、ここで本種の寄生が造林地全体に急速に広がった要因としては、水面に浮遊した孵化幼虫が干満の流れに乗って拡散した可能性が最も高いと考えられた(河合1995)。とくにエビ養殖池跡地(タンバック)という閉鎖的な水面が、浮遊する幼虫を高密度に保つ特殊な環境条件となったことも多発を助長する要因になったものと考えられた。

本種の原産地や分布の詳細については明らかでないが、フィリピン・パラワン島およびマレーシア・ペラ州マクンのマングローブでも発生が確認されており、バリを含めこれら3地域の個体群にはそれぞれ僅かながら形態的な差異のあることが知られている(Takagi & Williams, 1998)。バリのタンバックでの爆発的な大発生をみると、外来の種である可能性が強く示唆されるが、フィリピンやマレーシアのものとは形態的に異なることや、バリの天然林に安定した低密度で生息していることなどから、この地域に土着のカイガラムシである可能性も否定できない。

##### ③被害

本種の加害が破壊的である最大の原因は、葉面寄生部に顕著なクロロシスを生じ、早期落葉をひき起こすことである。孵化幼虫は定着後、糸状の長い口針を植物組織に挿入して主に細胞液を吸収するが、同時に注入される唾液にクロロシスをひき起こす有害な物質が含まれているものと考えられる。クロロシスの範囲は1頭の寄生部位を中心に径1cmに及ぶ。とくに展開中の若い葉では孵化幼虫の集団定着・吸汁によって密な黄色斑点を生じ、その後幼虫が発育に失敗したとしても加害痕は長期にわたって残り、葉の展開とともにくぼみとなったりカールしたりして被害が拡大する。寄生が多いと黄斑はさらに互いに癒合して褐色の壊死斑となり(Photo 1. E, F)、早期落葉によって枝枯れをひき起こし、連続的に加害された木は樹勢を回復できずに枯死にいたる(Photo 1. B)。



**Photo. 1** Scale insects occurring on mangrove plantation in Bali, Indonesia. A: Plantation site for mangrove restoration on abandoned shrimp pond "Tamback" (photo by K. Ota, May 1993.). B: Damages of reforested *Rhizophora* saplings caused by outbreak of *Aulacaspis marina* Takagi & Williams. C: *A. marina*, adult female. D: Ditto, community of male larvae. E: Ditto, heavy infestation. F: Chlorosis and necrosis caused by infestation of *A. marina*.

*R. mucronata* の苗木を用いた実験では、孵化幼虫の定着から落葉・枯死にいたるまでの期間は82-159(平均128)日で、本種の短い世代間隔と産卵数の多さにより急速に個体数を増加させ、短期間に木を枯らすことが明らかとなった(尾崎1998, Ozaki et al. 1999)。

#### ④天敵

タンバックのカイガラムシ多発地では天敵類を確認できなかったが、周辺の天然林では捕食寄生性天敵として

ツヤコバチの1種 (*Aphytis* sp.) が高率に寄生するほか、ヒメテントウの1種 (*Scymnini* gen.sp.) による捕食が確認された。さらに、Ozaki et al. (2000) によりバリの天然マングローブ林において、フタイロヒメアリ *Monomorium floricola* (Jerdon) およびアメイロアリの一種 *Paratrechina* sp. が *A. marina* の介殻を剥がして虫体ならびに卵を捕食するのが確認された。一般に多くの無殻カイガラムシはアリに甘露を提供し、外敵から守ってもらうという共生関係

をもつものが多く、甘露を排泄しない有殻カイガラムシにおいてもアリの存在が天敵を排除する結果、これまでアリはカイガラムシの個体数増加をもたらす要因の一つとされ、カイガラムシの天敵とは考えられていなかった。しかし、天然マングローブ林においてアリを排除した区を設け、アリによるカイガラムシの密度に及ぼす効果を調査した結果、試験区の3日後のカイガラムシの平均生存率はアリ排除区で90%であったのに対し、無排除区では22%に減少し、アリが *A. marina* の有力な天敵として密度抑制に大きく関与していることが明らかとなった (Ozaki et al. 2000)。

## II. インドネシア・ロンボック島のマングローブ林伐採跡地に多発したカイガラムシ

前記インドネシア・マングローブ林資源保全開発現地調査事業において、バリとともに造林調査対象地とされたロンボック・ブタンガン島 (Gili Petangan) の造林地は、かつて環礁内の堆砂地に成立したマングローブ林が薪炭材や建材用などとして伐採し尽くされた跡地で、すでにマングローブ林の名残はない、さらにその数年前、隣接する内陸部に火災が発生して後背地の植生が失われるなど、自然植生から隔離された状態にあった。造林地には実生によって自生した樹高3-4mの *R. apiculata* および *R. stylosa* Griff. がまばらに生育しており、自生する樹木の間には *R. mucronata* 苗木が植栽されていた (Photo 2. A)。

点在する自生の *R. apiculata* のうち、とくに満潮線の浅い内陸側の樹木には数種のカイガラムシの多発が認められた。それらのほとんどはマルカイガラムシ科 (有殻カイガラムシ) であったが、バリ島に多発した *A. marina* の発生はみられなかった。自生木にさまざまな種類のカイガラムシの多発が見られたことから、植栽木への蔓延が懸念されたが、この時点では植栽木もまだ満潮線を越えるまでには生長していなかったため寄生は見られず、その後も植栽木に被害をみることはなかった。

### 1. 多発のみられたカイガラムシの形態と生態

#### 1) *Coccus* sp. (カタカイガラムシ科) (Photo 2. B)

雌成虫は楕円形～広楕円形、未成熟のうちは極めて扁平で半透明、淡黄色～淡黄緑色であるが、成熟すると体長3-4mm、背面はやや隆起して硬皮し、淡褐色～茶褐色となり、小黑点で斑紋を現す。肉眼的には体表にロウ質の分泌物は認められない。

雌は見られず単為生殖を行うと考えられる。繁殖は卵胎生に近く、卵は産下直後に孵化し、年間を通して幼虫から成虫までの各发育段階のものがみられる。発生は局部的で、多発しても樹全体に被害が及ぶことはない。

幼虫・成虫とも後方背面に開口する肛門から甘露を排出し、アリによって保護されることが多く、しばしばツムギアリ (*Oecophylla* sp.) の巢内で大繁殖する。また、葉面に付着した甘露にはすす病が誘発され、他のカイガラムシの発生

が助長されることがある。

#### 2) *Aspidiotus* sp. (マルカイガラムシ科: Tribe Aspidiotini) (Photo 2. C)

雌の介殻は質薄く半透明～白色、ほぼ円形、径1.5mm内外、扁平で中央部はわずかに隆起する。雄の介殻は雌のものに似るが小形で楕円形。雌成虫の虫体はほぼ円形で淡黄色。

主として葉の裏面に寄生し、寄生部に線状の黄斑を生じる (Photo 2. D)。

#### 3) *Duplaspidiotus* sp. (マルカイガラムシ科: Tribe Aspidiotini) (Photo 2. E)

雌の介殻は質厚く漆黒色、ほぼ円形、径2.5-3mm、扁平で中央部はやや隆起する。雄の介殻は雌のものに似るが小形で楕円形。雌成虫の虫体はほぼ円形で体皮はやや硬化し、淡褐色。

葉の表面の主脈に沿って寄生する。寄生部に黄斑を生じることはないが、吸汁により葉は黄化して落葉しやすくなる。

#### 4) *Lindingaspis* sp. (マルカイガラムシ科: Tribe Aspidiotini) (Photo 2. F)

雌の介殻はほぼ円形で径2.5mm内外、扁平で中央部はやや隆起する。介殻の質は厚く暗褐色、新鮮なものではしばしば灰白色を呈する。雄の介殻は雌のものに似るが小形で楕円形。雌成虫の虫体はほぼ円形で淡紫色。

枝および葉表の主脈に沿って寄生する。寄生部に黄斑を生じることはないが、吸汁により葉は黄化して落葉しやすくなる。発生は局部的で樹全体に被害が及ぶことはなかった。

#### 5) *Lepidosaphes tapleyi* Williams (マルカイガラムシ科: Tribe Lepidosaphedini) (Photo 3. A-C)

雌の介殻は黄褐色、細長く両側はほぼ並行し、長さ3mm内外、先端に1, 2齢幼虫の脱皮殻を付着する。雄の介殻は雌のものに似るが小形。雌成虫の虫体は細長く、淡黄色。

葉の両面および枝に寄生し、葉面ではとくに葉縁部に好んで寄生し、密度が高まると葉面全体に広がる。寄生部に黄斑を生じ、寄生が多いと壞死斑となる。

東・西アフリカ、アジアから南太平洋地域に分布し、雑多な植物が寄主植物として知られており (Williams & Watson 1988)、バリ島の天然マングローブ林からもごく僅かながら寄生が認められている。また、西表島においては *R. stylosa* の種苗に多発したことがある (未発表)。

#### 6) *Pseudaulacaspis cockerelli* (Cooley) (マルカイガラムシ科: Tribe Diaspidini) (Photo 3. D-F)

雌の介殻は白色、扁平でゴマ粒形、大きさ2.5mm内外、先端に1, 2齢幼虫の脱皮殻を付着する。雄の介殻は帯白色、小形で細長く、大きさ1mm内外、両側はほぼ並行するが、脆く、多数の個体が群生するときば全体に粉状や綿状の分泌物をまとった集団となって形状が判然としない場合が多い。雌の介殻は外観的に一見バリ島で多発した *A.*



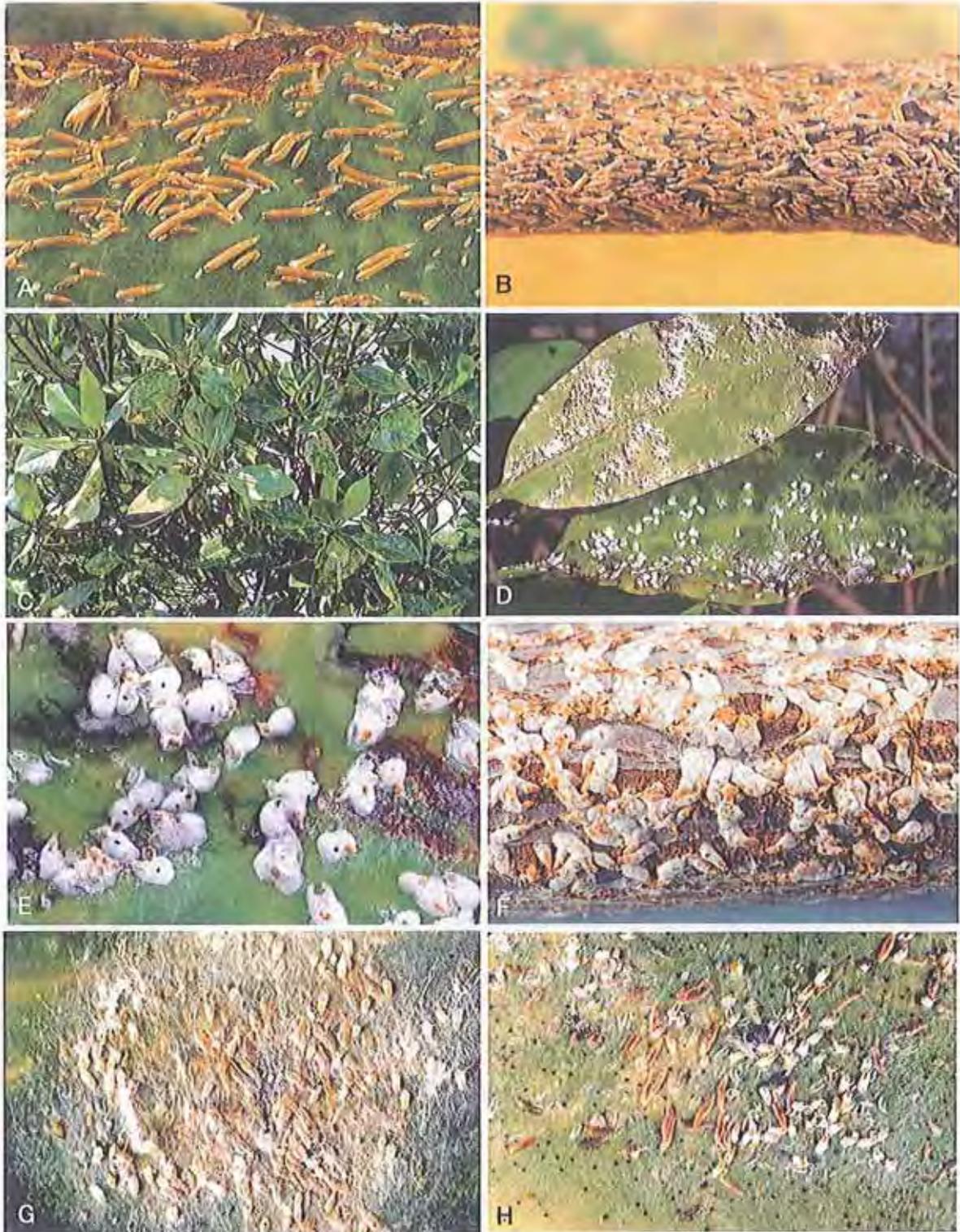
Photo. 2 Scale insects occurring on mangrove plantation site in Lombok, Indonesia-I. A: Plantation site for mangrove restoration on destroyed mangrove forest. B: *Coccus* sp. (Coccidae). C: *Aspidiotus* sp. (Diaspididae). D: Chlorosis by infested *Aspidiotus* sp. E: *Duplaspidotus* sp. (Diaspididae). F: *Lindingsaspis* sp. (Diaspididae).

*marina* と似ているが、雄の介殻の背面に顕著な3本の隆起線がないことで識別できる。雌成虫の虫体はほぼカキの種形で橙黄色。形態的に多くの型が知られており、分布や寄生性など生態的にも違いが見られる。

葉の両面および枝に寄生し、葉面ではとくに裏面に多く、通常、雄は群生して寄生部は広く黄斑を生じ、寄生が多いと壊死斑となり、落葉を早める。全世界の熱帯および温帯の温室に発生し、果樹や観葉植物の害虫となっている。

7) *Fiorinia* sp. 1 (マルカイガラムシ科: Tribe Diaspidini) (Photo 3. G)

雌の介殻は大部分が硬化した黄褐色の2齢幼虫の脱皮殻からなり、先端に1齢幼虫の脱皮殻を付着し、雌成虫は脱皮殻内に包まれる。介殻の両側はほぼ並行し細長い盾状で背面は平ら、大きさ1.5mm内外。雄の介殻は小形で、白色の脆いロウ質分泌物からなる。雌雄ならびに成虫・幼虫が混在しコロニーを形成して寄生し、寄生部は雄幼虫の分泌する粉状と綿毛状の白い分泌物で覆われる。



**Photo. 3** Scale insects occurring on mangrove plantation site in Lombok, Indonesia-II. A: *Lepidosaphes tapleyi* Williams (Diaspididae). B: Ditto, infested on twig. C: Ditto, Heavy infestation. D: *Pseudaulacaspis cockerelli* (Cooley) (Diaspididae), upper leaf; mainly male, lower; female. E: Ditto, infested on leaf. F: Ditto, infested on twig. G: *Fiorinia* sp.1 (Diaspididae), brown; female, white; male. H: *Fiorinia* sp.2 (Diaspididae), brown; female, white; male.

葉の両面に寄生し、コロニーを形成した部位はクロロシスを生じ、集合が密なときは壊死斑となる。発生は局所的であるが、幼木を加害するときは被害が問題となると思われる。

#### B) *Florinia* sp. 2 (マルカイガラムシ科: Tribe Diaspidini) (Photo 3. H)

雌の介殻は大部分が硬化した赤褐色の2齢幼虫の脱皮殻からなり、先端に1齢幼虫の脱皮殻を付着し、雌成虫は脱皮殻内に包まれる。介殻は細く紡錘形で大きき1.5mm内外、背面はやや膨らむ。雄の介殻は小形で、白色の強いロウ質分泌物からなる。雌雄ならびに成虫・幼虫が混在しコロニーを形成して寄生し、寄生部は雄幼虫の分泌する粉状の白い分泌物で覆われる。

葉の両面に寄生し、コロニーを形成した部位はクロロシスを生じ、集合が密なときは壊死斑となる。発生は局所的で樹全体に被害が及ぶことはないと思われた。

### III. タイ南部カノーム川流域マングローブ林に多発したカイガラムシ

カノーム川はタイ南部ナコーンシータマラート県北部のタイランド湾に注ぐ中規模河川で、流域には一部植林木を含む樹高20mを越す *R. apiculata* ならびに *R. mucronata* を主体としたマングローブ林が広がる。2004年ころから河口近くにおいて川に面した林縁部の *Rhizophora* spp. の高木にコナカイガラムシの一種 *Leptococcus* sp. (無殻カイガラムシ類) が多発し、葉は黄化するとともに葉面に付着した排泄液(甘露)にスス病を併発して樹全体が黒っぽくなり、落葉が目立つようになった (Photo 4. A-C)。寄生された樹は3年を経過した後も枯死には至らなかったが、発生地域は次第に上流にまで拡大し、満潮時、淀みや吹き溜まりには黄化した落葉とともにカイガラムシの白色ロウ質分泌物や脱皮殻が水面を覆うように漂う様子が観察された (Photo 4. D)。

#### 1. 多発したカイガラムシの形態と生態

##### 1) *Leptococcus* sp. (コナカイガラムシ科)

雌成虫の虫体は長楕円形、体長2mm内外、体色は淡黄色で体表は白粉状のロウ質物で薄く覆われ、体周縁部に沿って白色繊維状の長いロウ質物を分泌する (Photo 4. E)。触覚および脚は標準的な多くのコナカイガラムシ類に比して著しく長く、腿節は体側をはるかに越える。雄は前蛹・蛹を経て有翅の成虫となるが、雄の蛹と雌成虫との大ききの比率は一般的なコナカイガラムシ類に比べるときわめて大きい。これらはこの属の特徴のひとつでもある。

卵胎生で繁殖し、雌は3齢を経て成虫となり、終生脚を有し歩行・移動が可能である。1世代に要する期間は明らかでないが、発生の様子から推定すると1か月程度と考えられ、年間発生回数もバリで多発した *A. marina* 同様きわめて多いことが想定された。

寄主植物は *Rhizophora* に限られ、葉の裏面に寄生する。

多くのコナカイガラムシ類は葉の主脈やくぼみを中心にして密なコロニーを形成するが、本種は葉脈にかかわりなく平滑な葉の裏面に寄生する点が特異で、発生が多いときも個体が重なり合うことはなく、裏面全体に広がって大きなコロニーを形成する (Photo 4. F)。

一般的な多くのコナカイガラムシ類は腹面に寄主植物への付着を補助する器官と考えられる円盤 (circulus) を有するが、本種は円盤を欠き、他のコナカイガラムシ類に比し固着性は弱い。本種と形態的・生態的に類似し、同様に円盤を欠く *Platococcus eugeniae* Miller & Denno においては、フロリダで *Eugenia axillaris* Willd. の樹林に多発した際、成虫が空中プランクトンとして風に乗って分散することが観察され、多発の要因となったことが報告されている (Miller & Denno, 1977)。おそらく本種においても同様に成虫が空中に浮遊して分散し、多発を助長したものと考えられる。

天敵としてはヒメテントウの一種とクサカゲロウの一種の幼虫などが確認され、とくに林内に自生した幼木においては密度抑制に一定の効果を示していると思われた。

### IV. カイガラムシの多発要因

カイガラムシは都市公園や道路沿いの植え込みなど、自然の生態系が破壊された人工的な環境で多発することが知られており、都市の生物的環境の指標としても利用されている (Kawai, 1977)。ここで述べたバリの造林地、ロンボックのマングローブ皆伐跡地およびタイ・カノームのマングローブ林におけるカイガラムシの多発は、それぞれカイガラムシの種類によって発生活態が異なり、環境条件もその歴史的背景も大きく異なることから、多発の要因は必ずしも一様ではない。しかし、これらマングローブ林におけるカイガラムシの多発も、都市環境にみられる多発の例と多くの点で共通している。

都市環境でのカイガラムシの多発の要因は、大きく二つに分けることができる。そのひとつは、自然環境が消失し、生物相が単純化することによってカイガラムシの発生を抑制していた天敵圧が低下することである。天敵圧の低下によってカイガラムシが多発する例は、果樹園で不用意に殺虫剤を散布した後でもしばしば観察されている。

カイガラムシの天敵類のうち、有力なものとしては捕食寄生性のトビコバチ類などの寄生蜂の他、捕食性のテントウムシやクサカゲロウの仲間、アリなどが確認されている。いずれもきわめて多くの種類を含み、通常、多くの生物が相互に捕食し合って生態系のバランスを保っており、多様性の高い生物相のもとで天敵の働きも安定性が高まる。

都市環境でみられるカイガラムシ多発の第2の要因は、大気汚染や土壌条件の悪化による植物の衰弱である。植物の衰弱は樹脂の分泌機能などを弱め、孵化幼虫の口針挿入に対するによる防御反応の低下をもたらして孵化幼虫の定着率を高める。樹勢の衰えた木に追い討ちをかけるように



Photo. 4 Mealybugs occurring on *Rhizophora* mangrove community in Khanom, Thailand. A: *Rhizophora* community near estuary of Khanom-river, sooty appearance caused by outbreak of *Leptococcus* sp. (Pseudococcidae). B: Sooty mold occurring by excreted honeydew of *Leptococcus* sp. C: Heavy infestation of *Leptococcus* sp. D: floating exuviae or secreted waxes and probably whole body of adult females on the water surface. E: Colony of *Leptococcus* sp. F: Ditto.

カイガラムシが多発する例は園芸生産者の間ではよく知られている。

バリの造林地においては、きわめて人工的で天敵の欠如した環境のもとで、*A. marina* の、カイガラムシとしてはきわめて多い年間世代数と旺盛な繁殖力に加え、「タン

バック」という特殊な閉鎖的の水面環境が水面に浮遊した孵化幼虫を高密度に保って拡散を助け、発育途上にあつた植栽木を集中的に加害して枯死させたと考えられる。また、ロンボックではマングローブ林の皆伐跡地であることに加え、隣接した内陸地に発生した火災によって後背地の植生

が失われた結果、天敵類が減少し、点在する自生木に寄生していたさまざまな種類のカイガラムシが天敵圧から開放されて多発にいたったものと想像された。また、ロンボッタにおいて自生木に多発したカイガラムシが植栽木に蔓延することがなかったのは、常に大きく流動する開放的な水面環境が孵化幼虫の浮遊密度を希薄にしたものと想定された。

タイ・カノームのマングローブ林においては、*Leptococcus* sp. の卵胎生による繁殖様式と年間世代数の多さに加え、雌成虫が空中を浮遊して拡散するという特異な生態が多発に関与したものと推定された。コナカイガラムシ類を含む多くのカイガラムシ類では孵化幼虫による自力歩行での限られた範囲への分散の他に、空中プランクトンとしての広域への拡散が知られている。一方、成虫の空中浮遊による分散はほとんど知見がなく、一般に効率のよくない拡散方法と考えられてきた。しかし、フロリダにおける *Platococcus eugeniae* の *Eugenia axillaris* 樹林での多発の例と同様、本種においても *Rhizophora* spp. の高木からなる比較的単純な樹林では、成虫の空中浮遊は成功率の高い有効な拡散の手段として、多発を導く大きな要因になったものと想像された。また、本種の発生が小型動力船の往来が比較的頻繁な河口付近の、河川に面した林縁から始まったことから、都市環境におけるカイガラムシの多発と同様、生態的攪乱地とカイガラムシの多発との密接な関係がうかがわれた。

### 引用文献

- Kawai, S. (1977): Changes of coccid-fauna with urbanization in Tokyo. Tokyo Project: Interdisciplinary Studies of Urban Ecosystems in the Metropolis of Tokyo (M.Numata ed.), 148-172.
- 河合省三 (1995): インドネシア・マングローブ林資源保全開発現地実証調査、短期派遣専門家調査報告書。
- Miller, D. R. and R. F. Donno (1977): A new genus and species of mealybug with a consideration of morphological convergence in three arboreal species (Homoptera: Pseudococcidae). *Systematic Entomology* 2, 111-157.
- 中村松三 (1995): インドネシア・マングローブ林資源保全開発現地実証調査、短期派遣専門家調査報告書。
- 尾崎研一 (1997): インドネシア・マングローブ林資源保全開発現地実証調査、短期派遣専門家調査報告書。
- 尾崎研一 (1998): インドネシア・マングローブ林資源保全開発現地実証調査、短期派遣専門家調査報告書。
- Ozaki, K., S. Kitamura, E. Subiandoro, and A. Taketani (1999): Life history of *Aulacaspis marina* Takagi and Williams (Hom., Coccoidea), a new pest of mangrove plantations in Indonesia, and its damage to mangrove seedlings. *J. Appl. Ent.*, 123, 281-284.
- Ozaki, K., S. Takashima and O. Suko (2000): Ant predation suppresses populations of the scale insect *Aulacaspis marina* in natural mangrove forests. *Biotropica*, 32(4a), 764-768.
- Takagi, S. and D.J. Williams (1998): A new mangrove-infesting species of *Aulacaspis* occurring in South-east Asia, with a revision of *A. vitis* (Homoptera: Coccoidea: Diaspididae). *Insecta. Matsumurana New Series*, 54, 51-76.
- Williams, D.J. and G.W. Watson (1988): The scale insects of the tropical South Pacific region, Part I. The armored scales (Diaspididae). C.B.A. International, 289pp.



## マングローブ環境を支える物理過程

松田義弘

### Physical processes supporting mangrove environments

Yoshihiro Mazda

**Abstract:** The mangrove natural environments are formed and preserved through feedback processes between biota, landform, water flow and atmosphere. These four factors are tightly connected with each other as compared with other temperate coastal areas in middle latitude. In this article, physical processes and mechanisms that have been investigated in mangrove areas are summarized.

Further studies for the conservation of the natural mangrove environments are expected.

**Keywords:** キーワード：マングローブ、物理過程、海水流動、生態系、フィードバック

#### 1. 遅れている物理過程の研究

マングローブ域の急速な破壊と退廃に対し、科学的知見に基づく適切な対策が求められている。その基礎となるマングローブ研究の歴史は古い。Snedaker and Snedaker (1984) によれば、既に1984年までにおよそ7000の研究論文が出版されている。しかし、その大半はマングローブの植物、群落、生理に関するものである。マングローブ域の海水流動を対象とした流体力学的研究は Wolanski *et al.* (1980) に始まり、マングローブ環境形成に対する物理過程の役割を最初に紹介したのは Kjerfve (1990) である。

Fig. 1 に示したように、Wolanski *et al.* (1980) 以後、物理過程の研究は蓄積されてきた。しかし、沿岸海洋学、海岸工学、水理学、水文学などの研究者は中緯度地域に集中しており、熱帯・亜熱帯という地理的遠方に位置するマングローブ域の物理過程に興味をもつ研究者は現在もなお極めて少ない。なお、図に見られるように和文の研究論文は英文で著わされた論文の1/3にも達するが、和文の研究成果は現地の研究者、技術者にはほとんど利用されない。

#### 2. マングローブ域の特異な海水流動

##### 2.1 地形に依存する海水流動

マングローブ地形は中緯度地域への河口、海岸地形と比べて特異的である。マングローブ地形は研究の目的によっていくつかの分け方ができる。本文では物理過程、特に海水流動の特徴を扱うのに適した Cintron and Novelli (1984) による以下の分類を用いる (Fig. 2)。

a) Riverine forest type (R型)：感潮水路 (tidal creek) に沿った湿地 (swamp) にマングローブ群落をつくるタイプである。creek もその枝流も強く蛇行しており、互いに錯綜している (Fig. 5 参照)。外海水は上げ潮で creek

を遡り、潮位の上昇によって swamp に氾濫する。下げ潮では creek を通って外海へ流出し、底泥面が干出する。swamp の岸寄りでは、creek を遡上する潮汐流に引きずられるため creek に平行な流れが卓越する。swamp 奥部では、creek と swamp の間の水面勾配により creek に直交する流れとなる。外海から進入する波浪は、長く蛇行する creek を遡上する間にエネルギーを消耗するので、swamp 内には殆ど進入しない (Mazda *et al.*, 2005)。

なお、多くの場合、外海に繋がる creek の出口 (河口) では水深が浅い sill 状となっている。従って、低潮時には外海との海水交換が抑制され、特に大潮の低潮時には creek の流れは止まり、マングローブ域は外海から孤立する (松田, 1997; 二瓶ら, 2003)。

b) Fringe forest type (F型)：外海に面した海岸線に沿って群落をつくるタイプであり、潮汐、波浪に直接曝されている。海水は上げ潮で海岸線に直交して浸入し、低潮時には底泥面は露出する。外海からの波浪も海岸線に直交して進入するが、樹木と地上根の抵抗により減衰し、樹木の奥までは達しない (Mazda *et al.*, 1997a)。

c) Basin forest type (B型)：雨期の大潮の高潮時に浸水が可能となる池状の地形に群落をつくるタイプである。乾期には、池の水位は外海水位との差がつくりだす地下水流によってゆっくりと変化する。この地下水の移動に伴って底泥中の種々の物質も移動・更新し、また池の底層水の鉛直混合が行われる (Mazda *et al.*, 1990a)。

Lugo *et al.* (1988) によれば、生態系の形成はこれらのタイプによって異なり、群落としての発達が高最も高いレベルにあるのはR型である。Mazda *et al.* (2007a) は各タイプで異なる地形-海水流動-生物環境の繋がりをそれぞれ図化している。

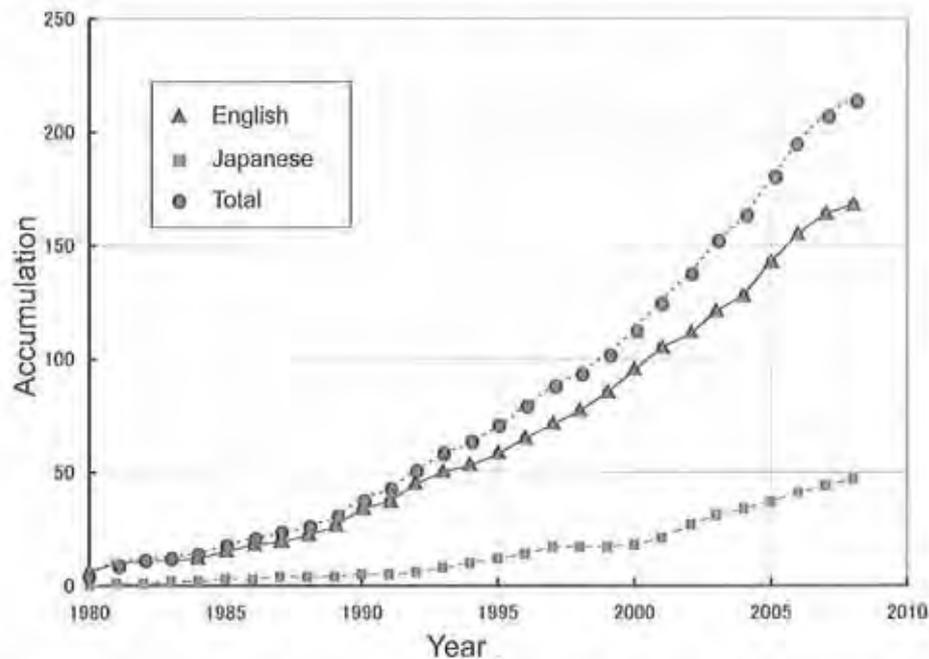


Figure. 1 Cumulative numbers of articles published by English (▲), Japanese (■) and the sum of them (●).

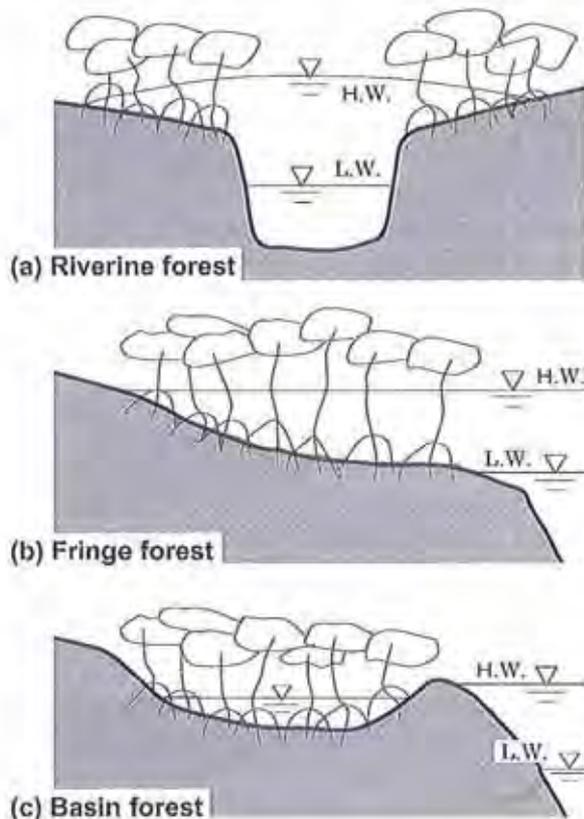
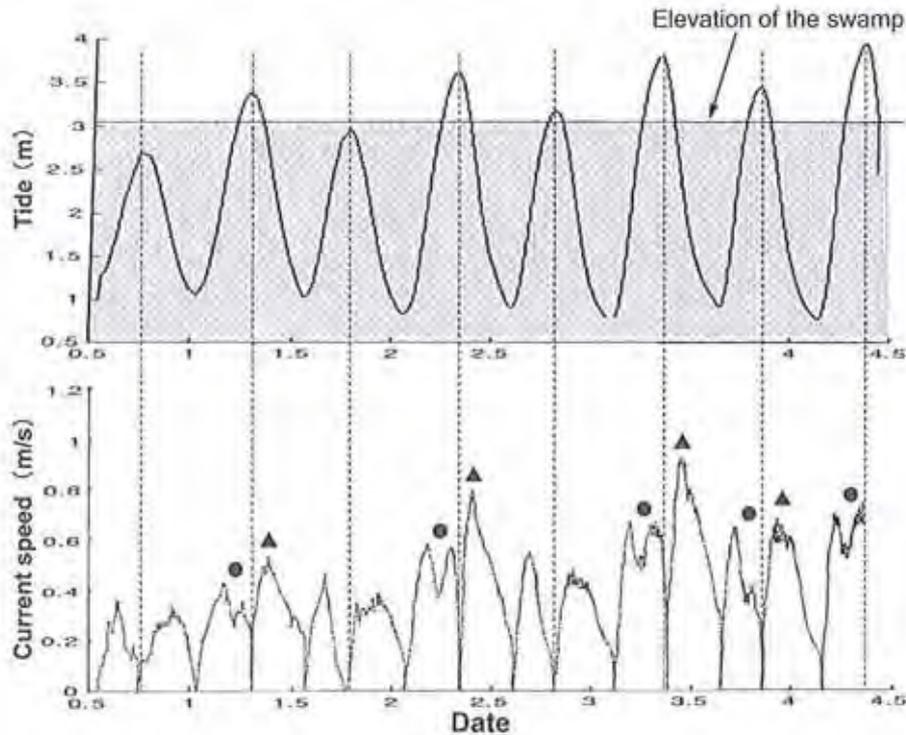


Figure. 2 Classification of mangrove topography (after Cintron and Novelli, 1984).

## 2.2 潮汐の振る舞い

マングローブ生態系を支える最も基本的な物理要素は1日2回あるいは1回の周期をもった潮汐による海水の運動である。Watson (1928), Chapman (1944), Lugo and Snedaker (1974), Bunt *et al.* (1985) は、マングローブ生態系を支配する要因として、地盤に対する潮汐の高さ、浸水持続時間、浸水頻度などが重要であろうと述べている。また、Boto and Bunt (1981), Woodroffe (1985) はマングローブ生態系維持の立場から、潮汐によるマングローブ域と外海の間での物質交換の重要性を指摘している。

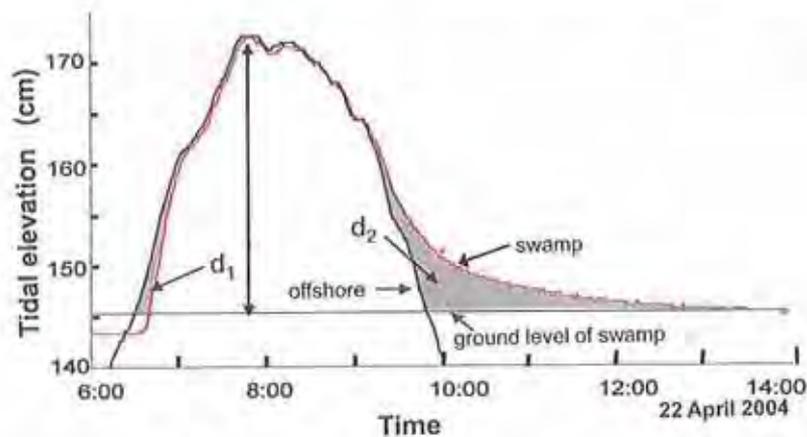
Wolanski *et al.* (1980) はオーストラリアの Coral Creek において creek の下げ潮流速が上げ潮流速の2倍ほど大きいことを見出し、これが河口閉塞を防ぎ、マングローブ域と外海の間での物質交換を支えていると述べている。その後の多くの観測 (例えば, Wattayakorn *et al.* 1990; Lacombe and Ridd, 1995) および理論的検討 (Mazda *et al.*, 1995; Aucan and Ridd, 2000) により, creek で下げ潮流が卓越するのは、樹木が密集する広い swamp で大量の海水が氾濫する大潮期に生じる現象であり (Fig. 3), また, swamp では常に上げ潮流が卓越することが確かめられている。即ち, creek の潮汐流動は氾濫原のない河川と異なり, swamp への氾濫水量と樹木の抵抗に依存して大きく変化するという点に注意せねばならない。さらに, Wolanski and Ridd (1986), Ridd *et al.* (1990), Mazda *et al.* (1999) は creek 内の潮汐往復流と swamp に氾濫する



**Figure. 3** Time series plots of the water level and the current speed in a tidal creek (Cocoa Creek, Australia). In the upper figure, the elevation of the swamp is shown. When the tidal level is higher than the elevation of the swamp, the ebb flow (▲) prevails against the flood flow (●). Further, the asymmetry between the ebb and flood flows increases with increasing tidal level (after Aucan and Ridd, 2000).

大量の海水の流体力学的相互作用による栄養塩やマングローブ種子の分散特性を解析モデルと数値実験で論じている。Furukawa *et al.* (1997) は、密集する地上根と潮汐流動の相互作用が強い渦群をつくり、上げ潮と下げ潮では底泥の巻き上がり・堆積機構が異なることを現地測定と数

値実験で示している。Mazda *et al.* (2005) は種々のフィールドでの測定結果に基づいて、潮汐流動に対する樹木の抵抗を定式化している。なお、マングローブの幹や地上根の立体形状、植生密度、樹種、成長度によって流体抵抗は大きく異なり (Sato, 1978; Mazda *et al.*, 1997b)。その抵抗に



**Figure. 4** Time series plots of water levels in a mangrove swamp and an offshore point, Aita-Gawa in Iriomote Island, Japan. The hatched areas  $d_1$  and  $d_2$  show the deformation of tidal level in the swamp from the offshore point (after Mazda and Kamiyama, 2007).

依存して、swamp内の潮汐は外海潮汐から大きく変形する。従って、Fig. 4に示したように、swamp内の浸水状況を外海潮汐から推測するときには注意を要する。

上記のように、マングローブ域の潮汐特性は外洋での潮汐また河口域での既往の知見とは大きく異なり、生態系との関係を考慮すると、以下の3点が特記される。

①鉛直方向の水位変動：低潮時には底泥面が干上がり、満潮時には樹木の幹も海水に浸かる。水位変動の幅（潮差）や満潮時の水深は大潮-小潮、平均水位の年間変動により大きく異なる（Mazda and Wolanski, 2009）。

②水平方向の海水流動：マングローブ樹林内への海水浸入距離は潮差、大潮-小潮、平均水位の年間変動によって大きく異なる。マングローブの植生限界はこれに依存する。また、この海水の往復流によって外海物質（溶解酸素、プランクトン、塩水など）が樹林内に運ばれ、樹林内の物質（落葉、マングローブ種子、ベントスの卵・稚仔、底泥、貧酸素水など）が外海に運ばれる。一方、海水の動き（流速）は樹木や地上根さらに底泥面の凹凸により抵抗を受けて、外海での運動とは大きく異なったものとなる。

③時間変動：低潮時には樹林の底泥は干上がっており、海水の運動は1潮時を通じて連続していない。また浸水している時間（浸水持続時間）や浸水の頻度は大潮-小潮、平均水位の年間変動により大きく異なる。

### 2.3 波浪—津波の振る舞い

外海からマングローブ樹林に進入する波浪はもう一つの重要な海水運動である。波浪は海水や底泥を攪拌してマングローブ環境に影響を与える一方で、密集したマングローブの樹木群は波浪を減衰させ、生態環境を安定化する。

Mazda *et al.* (1997a, 2006) はベトナムのマングローブ域において、台風時の波浪を減衰させるマングローブ樹木群の効果を定量的に示した。Masset *et al.* (1999) は樹木の流体抵抗が波浪の周期に依存することを考慮して、樹林内で波浪スペクトルが変形する効果を解析モデルにより論じている。古川 (2003) は沖縄のマングローブ域での測定に基づいて、波浪によるセディメントの巻き上がり、輸送、堆積と波高との関係を示している。これらの知見に基づいて、Hong (2004) は熱帯域、特にベトナムでの海岸浸食の防止にマングローブ樹林が有効であると述べている。しかしながら、マングローブの種類毎に異なる樹木の鉛直形状、植生密度、さらに波浪の大きさや周期に依存する波浪の減衰機構はまだ定式化されていない。

環境省自然環境局・(財) 国際マングローブ生態系協会 (2003) は西表島の仲間川において、また九州森林管理局・国際マングローブ生態系協会 (2006) は同じく西表島の浦内川において、遊覧船の高馬力エンジンと頻繁な航行による波が岸に打ち寄せ、*Bruguiera* 種の根を洗掘する実態を紹介している。

なお、上記の研究で得られた知見は風波やうねりのような30秒ほどよりも小さい周期の波を対象としたものであ

ることに注意せねばならない。2004年のスマトラ地震津波はマングローブ樹林を破壊し、一方でマングローブ樹林によって沿岸域が護られた。津波は10分から1時間ほどの周期をもっており、津波とマングローブ樹林の関係には上記の波浪や潮汐の知見を当てはめることはできない。田中ら (2005)、Yanagisawa *et al.* (2009) は上記のスマトラ地震津波での被害調査に基づいて、津波に対するマングローブ樹木の強度を論じている。一方、Kathiresan and Rajendran (2005)、Mazda *et al.* (2007b) は津波から人間生活を護るマングローブ樹林の特異な物理的役割を論じている。

### 2.4 地下水の振る舞い

マングローブ樹林内の海水流動を考えるときには、底泥面の上の流れ（表流水）だけでなく、底泥面下の地下水流を忘れてはならない。地下水流は、その流量が表流水に比べて極めて小さいため、無視されがちである。しかし、土壌の性質を決定し、その土質に依存する樹林の生態系を維持する地下水の役割は重要である。例えば、巣穴の無い場合に比べて透水係数は10-100倍大きく、樹林内に高密度で存在するカニ穴が土中の海水や溶存物質の透過性を高め、土質の維持に貢献している（Mazda *et al.*, 1990b; Ridd and Sam, 1996; Stieglitz *et al.*, 2000; Susilo *et al.*, 2005）。R型、B型ではF型に比べて地下水の流動は活発である。特に、R型のcreekに近い岸寄りでは地下水面の勾配が大きいので、地下水流出が強く、土壌表面の乾燥が速い（Mazda and Ikeda, 2006）。また、B型では地下潮汐の往復流による物質交換機能を無視できない（Mazda *et al.*, 1990a）。

一方、枯葉や空洞化した地下根の堆積により形成されるマングローブ樹林の土壌は極めて等質性に欠け、さらに巣穴等の存在により地下水の振る舞いは強い局所性をもっている。Ridd (1996)、Sam and Ridd (1998)、Susilo and Ridd (2005) はこれらの局所性に対応した測定機器の開発、現地調査、模型実験、数値実験により、地下水流動の振る舞い、その水理機構、さらに土壌・土質の形成過程を精力的に追究している。

## 3. 環境形成に対する物理過程の役割

### 3.1 マングローブ地形の形成

潮汐や波浪によって樹林内に浸入した海水流動はswampの地形、密集するマングローブ樹木、さらに錯綜する地上根の存在で曲げられて新たなcreekを作ったり、地下に潜ったりする。言い換えれば、これらの流れに伴って生じる底泥の移動はswampの地形を変え、creekを蛇行させ、ときにはマングローブ樹林に接していない海岸を間接的に侵食するきっかけとなる（Mazda *et al.*, 2002）。例えばWolanski *et al.* (1998) はオーストラリアのHinchinbrook Channelでの現地調査により、大潮期の上げ潮時にswamp内にセディメントが取り込まれて

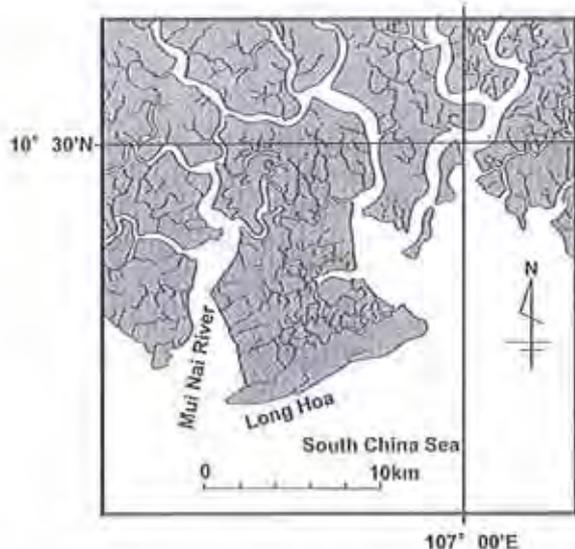


Figure. 5 The area map around the Long Hoa coast in southern Vietnam.

creek が蛇行していくことを示している。Furukawa and Wolanski (1996) はオーストラリアの Middle Creek で、また Brinkman *et al.* (2005) はタイの Sawi 湾での測定に基づいて、マングローブの地上根がセディメントを捕捉・堆積させる役割をしており、その結果として過度の巻き上がりや堆積から生態系が護られていると述べている。

マングローブ域は Fig. 5 に見られるように、無数の creek とその枝流の存在により極めてフラクタルなパターンをもっている。このような creek の交錯するネットワークは海水流動、地形、樹木群の間の相互作用によりつくりだされると思われる。3.4 節で述べるように、このネットワークはここでの生態系に重要な役割を果たしており、この形成過程および物理機構は極めて興味深い。内陸での川とその枝流の分岐やネットワークに関する定量的な研究は、Horton (1945) 以後、地理・地形学として発展してきている。しかし、マングローブ域の極めて緩い地盤勾配、軟らかい泥質の基盤、潮汐周期で浸水・干出する海水の往復運動などを考えると、creek のネットワークをつくり出す機構は内陸でのものとは大きく異なると思われる。D'Alpaos *et al.* (2009) は植生が密集する干潟の creek 形成モデルを提案している。彼らは、モデルは未だ初歩的な段階にあるが、干潟域での生物地形のモデル化 (bio-geomorphological modeling) においては生物過程と物理過程を別個に扱ってはならないと言っている。一方、Yagi *et al.* (2005, 2006) もマングローブ樹林の地形と creek のネットワーク形成に関する数学的モデルの展開を進めている。

### 3.2 マングローブ域と外海の相互作用

多くの場合、マングローブ樹林の外海側は植生の無い砂泥干潟を挟んでサンゴ礁となっている。外海に起源をもつ水温、塩分、溶存酸素、栄養塩などは樹林内の生態系に直接、間接的に影響を与えている。外海から樹林内に流入した海水の水質は林内での循環、滞留、混合、分散といった物理過程を経て時間的、空間的に大きく変質する。そして、下げ潮で流出するときの水質は干潟、サンゴ礁の生態系に強く影響する。例えば、サンゴ礁で光合成により生成された大量の酸素が上げ潮で樹林に供給されてベントスの活動を支え (Mazda *et al.*, 1990b)、一方、樹林から流出した栄養物質はサンゴ礁の多様な生物活動に欠かせない (土屋・藤田, 2009)。さらに、干潟を仲介して外海とマングローブ樹林の間で干渉し合う物理過程は Ong *et al.* (1991)、Dyer *et al.* (1992)、Medeiros and Kjerfve (1993)、Wolanski *et al.* (2001)、Nihei *et al.* (2004)、古川 (2008) が自然環境形成の観点から整理している。

マングローブ樹林とその外海側海域の物質交換機構は R 型、F 型、B 型の地形によって大きく異なる。R 型では潮汐作用で creek から氾濫することにより行われる (Mazda *et al.*, 1990b; Wolanski, 1992; Ridd *et al.*, 1997)、F 型では外海に面した海岸で潮汐、波浪により直接行われる (Wada and Takagi, 1988; 松田, 2007)、B 型では地下水により行われる (Twilley *et al.*, 1986; Mazda *et al.*, 1990a; Susilo *et al.*, 2005)。

### 3.3 大気・陸域の影響

マングローブ域の物理過程の中でも太陽光、降雨、蒸発、気温、湿度、風などの大気に関する研究は極めて少ない (佐藤・小田, 1985)。厚いマングローブの樹冠によって大気と樹林内とが隔離され、樹林内では独自の大気環境 (microclimate) が形成されると考えられるからであろう。しかし、マングローブ生態系にとって、またマングローブ樹林の後背地で生活する住民にとってこれらの大気要素の振る舞いは重要であると指摘されている。例えば、マングローブ樹林は風のエネルギーを吸収し、樹林背後の内陸部での塩害を防ぐ (Wolanski *et al.*, 2009)。季節的に大きく変動する降雨に対応した河川流出はマングローブ河口域で生じている水質変化や生物・化学・地形過程に影響を与える (Wattayakorn *et al.*, 1990, 2000; Wolanski and Cassagne, 2000)、creek から広い swamp に氾濫した大量の海水が強い蒸発により高塩分となり、下げ潮で creek に流出して海水密度を高くし、上流部と下流部の物質交換を遮断する (Wolanski, 1992; Ridd and Stieglitz, 2002)。一方、マングローブ樹林の伐採や埋め立て、また上流でのダム建設、内陸部の土地開発は creek の潮汐流量を大きく変化させ、直接接していない河口、海岸を浸食し、沿岸生態系を攪乱する (Fig. 6; Mazda *et al.*, 2002; Mazda *et al.*, 2007a)。Wolanski *et al.* (2009) はこれらの知見を総括して、マングローブ環境は沿岸域、河口、川、その流域の総



Figure. 6 Corals covered by mud discharged from a mangrove swamp in Missionary Bay, Australia (Mazda *et al.*, 2007a).

てを網羅した総合生態水文学 (total eco-hydrology) として認識されねばならないと主張している。

### 3.4 物理過程と生態系間のフィードバック関係

tidal creek の蛇行, creek の断面内での二次流と海水密度の分布はマングローブの胎性種子の広域分散に重要な役割を果たしている (Wolanski, 1995; Ridd *et al.*, 1998; Kuwabara, 2002)。creek 河口でのセディメントの堆積はマングローブ域と外海との海水交換を阻害し、マングローブ生態系の衰退をもたらす (Wolanski *et al.*, 1980; Mazda *et al.*, 1990b)。マングローブ樹林とその生態系が長年月を経て形成されたものであることを考えると、この長い年月の間で繰り返される潮汐の浸入、特にその頻度、浸水高さ、浸水持続時間などの水理機構と生物の生理・生態の間のフィードバックまたは相互作用の過程が極めて重要であるといえる (Bunt *et al.*, 1985; Mazda *et al.*, 1990b; Mazda and Kamiyama, 2007)。

マングローブ域の自然環境を形成するフィードバック関係を Fig. 7 に示した。生物、地形、海水流動、大気の間には種々のフィードバックが働いている。例えば、潮汐に伴って生じる海水流動は樹林内に溶存酸素を送り込み、栄養塩を分散させる。溶存酸素、栄養塩と太陽放射により成長するマングローブ樹木とその周囲の生物群は、枯葉を破砕し、分解して土壌を蓄積し、地形をつくりだす。こうしてつくられた地形、さらにマングローブの樹木と地上根を含めた生物地形は抵抗体となって海水流動の強さと方向を変える。このような 4 要素間のフィードバックはまた逆方向に、さらに、それぞれの 2 要素の間でも生じている。

樹林内を錯綜する無数の creek とその枝流は海水、栄養塩、溶存酸素、魚貝類の卵・稚仔等を樹林の奥まで運び、一方、貧酸素水や富栄養の土壌を外海に効率的に運び出す

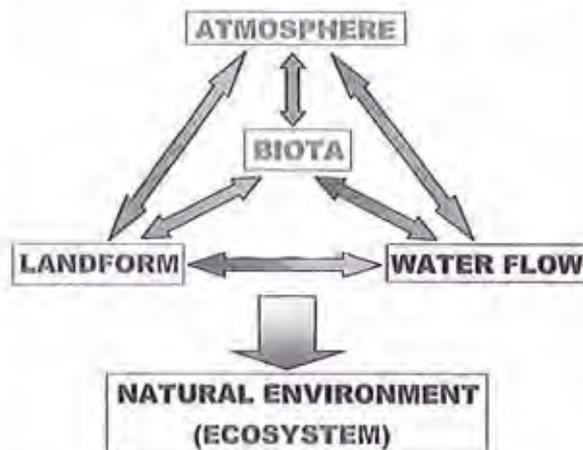


Figure. 7 Feedback processes in mangrove ecosystems.

役割をしている。この creek のネットワークは人間の生体を支えている動・静脈と毛細血管に喩えられる。毛細血管的ネットワークはマングローブ生態系が自身を維持するために作り出した巧まざる知恵といえる。さらに、マングローブ樹林の中に人工的に造成したエビ養殖池の維持にもこの creek のネットワークによる外海との海水交換は重要な役割を果たしている (Hon and San, 1993; Mazda *et al.*, 2007a)。一方、これらの養殖池の造成は自然のフィードバックによって形成・維持されてきた上記のネットワークに人工的な外圧を加えることになり、その結果、河口閉塞や河口に隣接する海岸浸食をもたらす可能性をもっている (Mazda *et al.*, 2002; Wolanski *et al.*, 2009)。creek のネットワークに関する定量的な評価は、生態系の維持と有効利用のためにも、今後の重要な課題である。

## 4. 今後の課題

1995 年の日本マングローブ学会における記念講演で、タイ国環境研究所所長の Dr. S. Aksornkoae が“日本のマングローブ研究は基礎的、理学的傾向が強く、それは大切なことではある。しかし、熱帯・亜熱帯の現地では、現在、マングローブ環境が危機的状況にあり、これに直接対応できる応用研究にも力を入れて欲しい”と述べている。マングローブ生態系と物理過程の相互関係を定式化し、環境維持と有効利用に実用化することがフィールド科学としてのマングローブ物理学の重要な役割である。この目的のために、マングローブ域に特異な多くの物理要素が見出され、それらの振る舞いと機構が解明されてきた。しかしながら、これらの物理過程と生態系との間の繋がりは未だ定量化されていない。例えば、マングローブ樹林に伐採、養殖池の造成、道路の建設のような人為的な物理作用が加えられたとき、生態系がどのように応答するかを定量的に予測す

ることはできていない (Mazda and Wolanski, 2009)。

今後は以下の手順によって系統的なマングローブ研究が進められねばならない。

- ①物理過程の研究の歴史は極めて浅く、知見の殆どが局所性をもったケーススタディによるものである。多くの異なる地点、種々の条件でのデータの蓄積が必要である。
- ②上記①に基づいて、マングローブ域に固有な物理過程が抽出されねばならない。
- ③マングローブ域に固有な物理過程とその機構の定式化がなされねばならない。
- ④マングローブ生態系に対する物理過程の役割を見出すために、物理分野の研究者と生態学、生物学分野の研究者による緊密な連携のもとでの共同研究がなされねばならない。
- ⑤既往の生態系モデルをそのまま適用することを避け、マングローブ域の特異性を十分に考慮した定量的モデルが構築されねばならない。

密集・錯綜し、立体形状をもった樹林、周期的に浸水・干出する地盤面、軟泥と無数の巣穴による地下水、蛇行する tidal creek のネットワーク、creek と swamp の相互作用、生態系にフィードバックする生物地形の変化、そして、陸域から外海までの間での相互作用はここでの特異な生態系モデルを構成する重要な物理要素である。これらの物理要素と生態系の繋がりが定量的に定式化されるまでは、マングローブ生態系を維持し、有効に利用することはできない。特に、上記研究を遂行するために、マングローブ域の物理過程に興味をもつ若い学生の力が期待される。

マングローブ生態系は陸域、河口域、沿岸域、そして外洋の間の強いフィードバック作用、即ち、total ecohydrology の構造の中で成立している (Wolanski *et al.*, 2009)。一方、大きく異なる時間スケール、空間スケールをもった生物、化学、物理要素の間の入り組んだ非線形的な相互作用を通してマングローブ生態系は遷移して現在に至っている。異分野の研究者を網羅した同一地点での同一時のフィールド調査が蓄積されて初めて、マングローブ生態系を維持し、人間活動との共生をはかることが可能となる。

紙数に制限があり、Fig. 1 に示した多くの研究成果を割愛せざるを得なかった。本文では、出来る限りこれらを検索できる論文を引用した。

### 引用文献

Aucan, J. and P.V. Ridd (2000) Tidal asymmetry in creek surrounded by saltflats and mangroves with small swamp slopes. *Wetlands Ecology and Management*, 8, 223-231.

Boto, K.G. and J.S. Bunt (1981) Tidal export of particulate organic matter from a northern Australian mangrove

system. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 13, 247-255.

Brinkman, R., G. Wattayakorn, E. Wolanski, S. Spagnol and K. Marshall (2005) Storm-driven erosion of fine sediment and its subsequent transport and trapping in fringing mangroves, Sawi Bay, Thailand. *J. Coastal Research*, 42, 211-220.

Bunt, J.S., W.T. Williams and E.D. Bunt (1985) Mangrove species distribution in relation to tide at the seafront and up rivers. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, 36, 481-492.

Chapman, V.J. (1944) The 1939 Cambridge University expedition to Jamaica. II. A study of the environment of *Avicennia nitida* Jacq. In Jamaica. *J. Linnean Soc. Bot.*, 52, 448-486.

Cintron, G. and Y.S. Novelli (1984) Methods for studying mangrove structure. In, *The Mangrove Ecosystem: Research Methods* (eds. S.C. Snedaker and J.G. Snedaker), UNESCO, 91-113.

D'Alpaos, A., S. Lanzoni, A. Rinaldo and M. Marani (2009) Intertidal eco-geomorphological dynamics and hydrodynamic circulation. In, *Coastal Wetlands: An Integrated Ecosystem Approach* (eds. G.M.E. Perillo, E. Wolanski, D.R. Cahoon and M.M. Brinson), Elsevier, Amsterdam, 159-184.

Dyer, K.R., W.K. Gong and J.E. Ong (1992) The cross sectional salt balance in a tropical estuary during a lunar tide and a discharge event. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 34, 579-591.

Furukawa, K. and E. Wolanski (1996) Sedimentation in mangrove forests. *Mangroves and Salt Marshes*, 1, 3-10.

Furukawa, K., E. Wolanski and H. Mueller (1997) Currents and sediment transport in mangrove forests. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 44, 301-310.

古川恵太 (2003) マングローブ林の土砂堆積環境に及ぼす波浪の影響。平成14年度内閣府委託調査研究 マングローブに関する調査研究報告書、亜熱帯総合研究所、257-263.

古川恵太 (2008) サンゴ礁に守られている沿岸域の環境。沿岸海洋研究、46, 41-46.

Hong, P.N. and H.T. San (1993) *Mangroves of Vietnam. The IUCN Wetlands Programme*, IUCN, Bangkok, Thai, 173pp.

Hong, P.N. (2004) *Mangrove Ecosystem in the Red River Coastal Zone*. Agricultural Publishing House, Hanoi, 509pp.

Horton, R.E. (1945) Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bull. Geol. Soc. Am.*, 56, 275-370.

- 環境省自然環境局・(財) 国際マングローブ生態系協会 (2003) 平成14年度 仲間川マングローブ林被害防止対策追跡調査報告書, 25pp.
- Kathiresan, K. and N. Rajendran (2005) Coastal mangrove forests mitigated tsunami. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 65, 601-606.
- Kjerfve, B. (1990) Manual for Investigation of Hydrological Processes in Mangrove Ecosystems. The UNESCO/UNDP Regional Project "Mangrove Ecosystems in Asia and the Pacific" RAS/79/002 and RAS/86/120, Thomson Press, 79pp.
- Kuwabara, R. (2002) The role of the centroid in viviparous seeds of mangroves for transportation and dispersal. *Mangrove Science*, 2, 29-35.
- 九州森林管理局・国際マングローブ生態系協会 (2006) 平成17年度 浦内川マングローブ林被害防止対策調査報告書, 九州森林管理局西表森林環境保全ふれあいセンター・特定非営利活動法人 国際マングローブ生態系協会, 70pp.
- Lacombe, P. and P.V. Ridd (1995) Megaripple dynamics and sediment transport in a mesotidal mangrove creek - implications for palaeoflow reconstruction. *Sedimentology*, 42, 593-606.
- Lugo, A.E. and S.C. Snedaker (1974) The ecology of mangroves. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5, 39-64.
- Lugo, A.E., S. Brown and M.M. Brinson (1988) Forested wetlands in fresh-water and salt-water environments. *Limnology and Oceanography*, 33, 894-909.
- Massel, S.R., K. Furukawa and R.M. Brinkman (1999) Surface wave propagation in mangrove forests. *Fluid Dynamics Research*, 24, 219-249.
- 松田義弘 (1997) マングローブ水域の物理過程と環境形成 - 自然の保護と利用の基礎. 黒船出版, 静岡, 196pp.
- 松田義弘 (2007) 干潟の海水流動. *海洋調査技術*, 19, 45-49.
- Mazda, Y. and Y. Ikeda (2006) Behavior of the groundwater in a riverine-type mangrove forest. *Wetlands Ecology and Management*, 14, 477-488.
- Mazda, Y. and K. Kamiyama (2007) Tidal deformation and inundation characteristics within mangrove swamps. *Mangrove Science*, 4,5, 21-29.
- Mazda, Y. and E. Wolanski (2009) Hydrodynamics and modeling of water flow in mangrove areas. In, *Coastal Wetlands: An integrated ecosystem approach*. (eds. G.M.E. Perillo *et al.*) Elsevier, Amsterdam, 231-262.
- Mazda, Y., H. Yokochi and Y. Sato (1990a) Groundwater flow in the Bashita-Minato mangrove area, and its influence on water and bottom mud properties. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 31, 621-638.
- Mazda, Y., Y. Sato, S. Sawamoto, H. Yokochi and E. Wolanski (1990b) Links between physical, chemical and biological processes in Bashita-Minato, a mangrove swamp in Japan. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 31, 817-833.
- Mazda, Y., N. Kanazawa and E. Wolanski (1995) Tidal asymmetry in mangrove creeks. *Hydrobiologia*, 295, 51-58.
- Mazda, Y., M. Magi, M. Kogo and P.N. Hong (1997a) Mangroves as a coastal protection from waves in the Tong King delta, Vietnam. *Mangroves and Salt Marshes*, 1, 127-135.
- Mazda, Y., E. Wolanski, B. King, A. Sase, D. Ohtsuka and M. Magi (1997b) Drag force due to vegetation in mangrove swamps. *Mangroves and Salt Marshes*, 1, 193-199.
- Mazda, Y., N. Kanazawa and T. Kurokawa (1999) Dependence of dispersion on vegetation density in a tidal creek-mangrove swamp system. *Mangroves and Salt Marshes*, 3 (1), 59-66.
- Mazda, Y., M. Magi, H. Nanao, M. Kogo, T. Miyagi, N. Kanazawa and D. Kobashi (2002) Coastal erosion due to long-term human impact on mangrove forests. *Wetlands Ecology and Management*, 10, 1-9.
- Mazda, Y., D. Kobashi and S. Okada (2005) Tidal-scale hydrodynamics within mangrove swamps. *Wetlands Ecology and Management*, 13, 647-655.
- Mazda, Y., M. Magi, Y. Ikeda, T. Kurokawa and T. Asano (2006) Wave reduction in a mangrove forest dominated by *Sonneratia* sp.. *Wetlands Ecology and Management*, 14, 365-378.
- Mazda, Y., E. Wolanski and P.V. Ridd (2007a) The Role of Physical Processes in Mangrove Environments. TERRAPUB, Tokyo, 598pp.  
<http://www.terrapub.co.jp/e-library/matsuda/index.html>
- Mazda, Y., F. Parish, F. Danielsen and F. Imamura (2007b) Hydraulic functions of mangroves in relation to tsunamis. *Mangrove Science*, 4,5, 57-67.
- Medeiros, C. and B. Kjerfve (1993) Hydrology of a tropical estuarine system: Itamaraca, Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 36, 495-515.
- 二瓶康雄・中村武志・網島康雄 (2003) 現地観測に基づくマングローブ河口域における sill 形状と海水交換特性の検討. *海岸工学論文集*, 50, 1121-1125.
- Nihei, Y., K. Sato, Y. Aoki, T. Nishimura and K. Nadaoka (2004) An application of a nesting procedure to a highly-resolved current simulation in a mangrove area. APAC2003, CD-ROM, 1-8.
- Ong, J.E., W.K. Gong, C.H. Wong, Z.H. Din and B. Kjerfve (1991) Characterization of a Malaysian

- mangrove estuary. *Estuaries*, 14, 38-48.
- Ridd, P.V. (1996) Flow through animal burrows in mangrove swamps. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 43, 617-625.
- Ridd, P.V. and R. Sam (1996) Profiling groundwater salt concentrations in mangrove swamps and tropical salt flats. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 43, 627-635.
- Ridd, P.V. and T. Stieglitz (2002) Dry season salinity changes in tropical mangrove and salt flat fringed estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 54, 1039-1049.
- Ridd, P., E. Wolanski and Y. Mazda (1990) Longitudinal diffusion in mangrove fringed tidal creeks. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 31, 541-554.
- Ridd, P.V., R. Sam, S. Hollins and G. Brunskill (1997) Water, salt and nutrient fluxes of tropical tidal salt flats. *Mangroves and Salt Marshes*, 1, 229-238.
- Ridd, P.V., T. Stieglitz and P. Larcombe (1998) Density-driven secondary circulation in a tropical mangrove estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 47, 621-632.
- Sam, R. and P.V. Ridd (1998) Spatial variation of groundwater salinity in a mangrove-salt flat system. Cocoa Creek, Australia. *Mangroves and Salt Marshes*, 2, 121-132.
- Sato, K. (1978) Studies on the protective functions of the mangrove forest against erosion and destruction. (I) The morphological characteristics of the root system of *Yaeyamahirugi* (*Rhizophora mucronata* LAMK). *Sci. Bull. Coll. Agr. Univ. Ryukyus*, 25, 615-630.
- 佐藤一紘・小田一幸 (1985) ヤエヤマヒルギ・オヒルギの風に対する強度について. 日本林学会九州支部研究論文集, No. 38, 329-330.
- Snedaker, S.C. and J.G. Snedaker (1984) *The mangrove Ecosystem: Research Methods*. UNESCO, 251pp.
- Stieglitz, T., P.V. Ridd and P. Muller (2000) Passive irrigation and functional morphology of crustacean burrows in a tropical mangrove swamps. *Hydrobiologia*, 421, 69-76.
- Susilo, A. and P.V. Ridd (2005) The bulk hydraulic conductivity of mangrove soil perforated with animal burrows. *Wetlands Ecology and Management*, 13, 123-133.
- Susilo, A., P.V. Ridd and S. Thomas (2005) Comparison between tidally-driven groundwater flow and flushing of animal burrows in tropical mangrove swamps. *Wetlands Ecology and Management*, 13, 377-388.
- 田中則夫・佐々木亨・湯谷賢太郎・S. Homchuen (2005) 津波防御に対する樹林幅と樹種影響について - インド洋大津波におけるタイでの痕跡調査結果 -. 海岸工学論文集, 52, 1346-1350.
- 土屋誠・藤田陽子 (2009) *サンゴ礁のちむやみ*. 東海大学出版会, 秦野市, 203pp.
- Twilley, R.R., A.E. Lugo and C. Patterson-Zucca (1986) Litter production and turnover in basin mangrove forests in southwest Florida. *Ecology*, 67, 670-683.
- Wada, H. and T. Takagi (1988) Soil-water-plant relationships of mangroves in Thailand. *Galaxea*, 7, 257-270.
- Watson, J.G. (1928) *Mangrove forests of the Malay Peninsula*. Malayan Forest Records No.6, Forest Department, Federated Malay States, Kuala Lumpur, 275pp.
- Wattayakorn, G., E. Wolanski and B. Kjerfve (1990) Mixing, trapping and outwelling in the Klong Ngao mangrove swamp, Thailand. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 31, 667-688.
- Wattayakorn, G., T. Ayukai and P. Sojisuporn (2000) Material transport and biogeochemical processes in Sawi Bay, southern Thailand. *In*, Carbon Cycling in a Tropical Coastal Ecosystem, Sawi Bay, Southern Thailand (eds. B.E. Brown and P. Limpsachol), Phuket Marine Biological Center Special Publication, 22, 63-77.
- Wolanski, E. (1992) Hydrodynamics of mangrove swamps and their coastal waters. *Hydrobiologia*, 247, 141-161.
- Wolanski, E. (1995) Transport of sediment in mangrove swamps. *Hydrobiologia*, 295, 31-42.
- Wolanski, E. and P.V. Ridd (1986) Tidal mixing and trapping in mangrove swamps. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 23, 759-771.
- Wolanski, E. and B. Cassagne (2000) Salinity intrusion and rice farming in the mangrove-fringed Konkoure River delta, Guinea. *Wetlands Ecology and Management*, 8, 29-36.
- Wolanski, E., M. Jones and J.S. Bunt (1980) Hydrodynamics of a tidal creek-mangrove swamp system. *Aust. J. Mar. Freshwater Res.*, 31, 431-450.
- Wolanski, E., S. Spagnol and T. Ayukai (1998) Field and model studies of the fate of particulate carbon in mangrove-fringed Hinchinbrook Channel, Australia. *Mangroves and Salt Marshes*, 2, 205-221.
- Wolanski, E., Y. Mazda, K. Furukawa, P. Ridd, J. Kitheka, S. Spagnol and T. Stieglitz (2001) Water circulation in mangroves, and its implications for biodiversity. *In*, Oceanographic Processes of Coral Reefs (ed. E. Wolanski), CRC Press, London, 53-76.
- Wolanski, E., M.M. Brinson, D.R. Cahoon and G.M.E. Perillo (2009) *Coastal Wetlands: A Synthesis*. *In*, Coastal Wetlands: An Integrated Ecosystem Approach. (eds. G.M.E. Perillo, E. Wolanski, D.R. Cahoon and

- M.M. Brinson) Elsevier, Amsterdam, 1-62.
- Woodroffe, C.D. (1985) Studies of a mangrove basin, Tuff Crater, New Zealand: III. The flux of organic and inorganic particulate matter. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 20, 447-461.
- Yagi, A., T.H. Ho and C. Duc (2005) A mathematical model for mangrove forest dynamics. *Annula Report of FY 2003, Core University Program between JSPS and NCST, Fujita Laboratory, Graduate School of Engineering, Osaka University*, 299-303.
- Yagi, A., T. Miyagi and P.N. Hong (2006) A mathematical model for mangrove geo-ecosystem focusing on interactions between trees and soils. *Annula Report of /FY 2005/, Core University Program between JSPS and VAST, eds. M. Ike and P. H. Viet, Ike Laboratory, Graduate School of Engineering, Osaka University*, 285-288.
- Yanagisawa, H., S. Koshimura, K. Goto, T. Miyagi, F. Imamura, A. Ruangrassamee and C. Tanavud (2009) The reduction effects of mangrove forest on tsunami based on field surveys at Pakalang Cape, Thailand and numerical analysis. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 81, 27-37.

タイ国における *Sonneratia* 属 4 種の髄腔の形態に関する新知見大田克洋<sup>1)</sup>・皆川礼子<sup>2)</sup>・中村武久<sup>3)</sup>A New Knowledge on the Form of Medullary Cavities of Four Species of *Sonneratia* in ThailandKatsuhiko Ota<sup>1)</sup>, Reiko Minagawa<sup>2)</sup>, Takohisa Nakamura<sup>3)</sup>

**Abstract:** *Sonneratia* spp. which have unique flowers, fruits and pneumatophores were found in the mangrove forests in Asia and the Pacific. The data from the field survey conducted at Phangnga and Pang Yi Rivers in Phangnga Province and Khanom River in Nakhon Si Thammarat Province, Thailand in August 2009 showed that the cross section of medullary cavities of *Sonneratia* spp. is "quadrangular" in shape. As a conclusion, it can be said that the cross section of medullary cavities in small branches and young stems of the four *Sonneratia* species in Thailand were uniquely quadrangular, and was first documented in this study.

**Keywords:** *Sonneratia* 属植物, 髄腔, 四角形

## はじめに

胎生種子を著けるヒルギ科植物が主体的なマングローブ林にあって、ザクロというより青柿に似た果実をつけるハマザクロ科の *Sonneratia* 属植物は、東南アジアでは一般にマングローブ林の前面に群落を形成する主要マングローブ樹種である。

筆者らは、ここ数十年から数十年間、タイ国半島部のマングローブ林において様々な調査研究を行なっているが、2009年3月の調査時に、筆者の一人(大田)がRanong県のRaun川流域で採集した *Sonneratia caseolaris* の枝茎の横断面にみられる髄腔 (medullary cavity) の形状が、円柱形の枝茎の外形から通常想定されるような円形ではなく、明確な四角形であることに気付いた。そこで、これが単なる特殊な一例であるのか、種としての組織形態の特性であるのかを確認するため、同年8月にはPhangnga県のPhangnga川およびPang Yi川、Nakhon Si Thammarat県のKhanom川の各流域において、*Sonneratia* 属4種の髄腔の横断面形態を観察した。また、比較のため、他のマングローブ植物についても観察した。しかしながら、*Sonneratia* 属の4種は全て基本的に四角形であった。

一般に円柱形の枝茎の生長過程において、どのようなメカニズムのもとに髄 (pith) が形成され、髄腔が四角形あるいは四角柱状となるのか、その細胞組織学的な問題については、今後の課題であるが、少なくとも、これら4種の *Sonneratia* 属の髄腔の形態が特異的に四角形であったという観察結果をここに報告する。なお、本稿の一部は、2009年11月7日に開催された第15回日本マングローブ

学会大会(於、東京農業大学)において報告した。

## 目的と方法

本研究は、偶然目にした *Sonneratia caseolaris* の枝茎の髄腔断面が四角形であったことから、その普遍性を確認するため、タイ国のマングローブ林の中にごく普通に広く分布している *S. alba* をはじめ、分布の限られている *S. caseolaris*, *S. griffithii*, *S. ovata* の枝茎標本を収集し、それぞれの節間の任意の部位における横断面の観察を行った。供試標本は、樹齢の若いものから胸高径20~30cm程度の壮齢樹までの、地上3.0~5.0mぐらいに位置する枝茎の先端部分を約1.0m、切口径5~15mm程度のものを採集した。それらの採集標本をさらに20cm程度に細分して観察した。

## 結果

まず、前記4種の *Sonneratia* の枝茎髄腔は、種類や樹齢に関わりなく、採集直後は水分を多く含む柔組織の髄で満たされているが、乾燥後は髄腔の壁部分の組織に対して髄が萎縮、付着するため空洞化し、四角形の髄腔がさらに明確となることが観察された。

髄腔の断面形態は、Fig. 1 (*S. alba*: a1-a20), Fig. 2 (1,2) (*S. caseolaris*: c1-c10), Fig. 3 (*S. griffithii*: g1-g20), Fig. 4 (*S. ovata*: o1-o20) が示すように、4種のいずれについても四角形で、小さなもので1辺が1.5mm、大きなもので2.5mmであった。

写真によって、やや詳細に検討すると、四角形の髄腔の角の形態は、ほぼ直角になっているもの (Fig. 1: a1, a3,

<sup>1)</sup> 東京農業大学名誉教授 (E-mail: senorota@liaf.ocn.ne.jp) Emeritus Professor, Tokyo University of Agriculture

<sup>2)</sup> 東京農業大学 (E-mail: reicom@nodai.ac.jp) Tokyo University of Agriculture

<sup>3)</sup> 東京農業大学名誉教授 (E-mail: cyathea@key.ocn.ne.jp) Emeritus Professor, Tokyo University of Agriculture



Fig. 1 Cross Sections of the Medullary Cavities of *Sonneratia alba*

Date / Place of sampling:

The plates; a1-a20: 23 Aug., 2009 / Pan Yi River basin, Phang-nga Bay,  
Thailand (herein after referred to TH).

Note: Scale bar in each plates equals 3mm, if not specified.

a8, Fig. 2: c1, c11, c12, c21, c30, c38, Fig. 3: g13, Fig. 4: o8, o10, o16 など) と、丸みをもったもの (Fig. 1: a2, a10, a14, Fig. 2: c2, c19, c 39, Fig. 3: g2, g3, g10, Fig. 4: o1, o4, o6 など) があつた。

枝茎の髄腔の外側に発達する皮層柔組織は基本的には円

形に発達するものとみられ、したがって、4種の枝茎の横断面は基本的には円形であつたが、Khanom 川流域で採集した *S. caseolaris* の壮齡樹の若枝の横断面は、髄腔と同様に四角形であつた (Fig. 2: c13, c26 など)、本例のように枝茎の外形が四角形 (あるいは四稜形) に形成されるメ

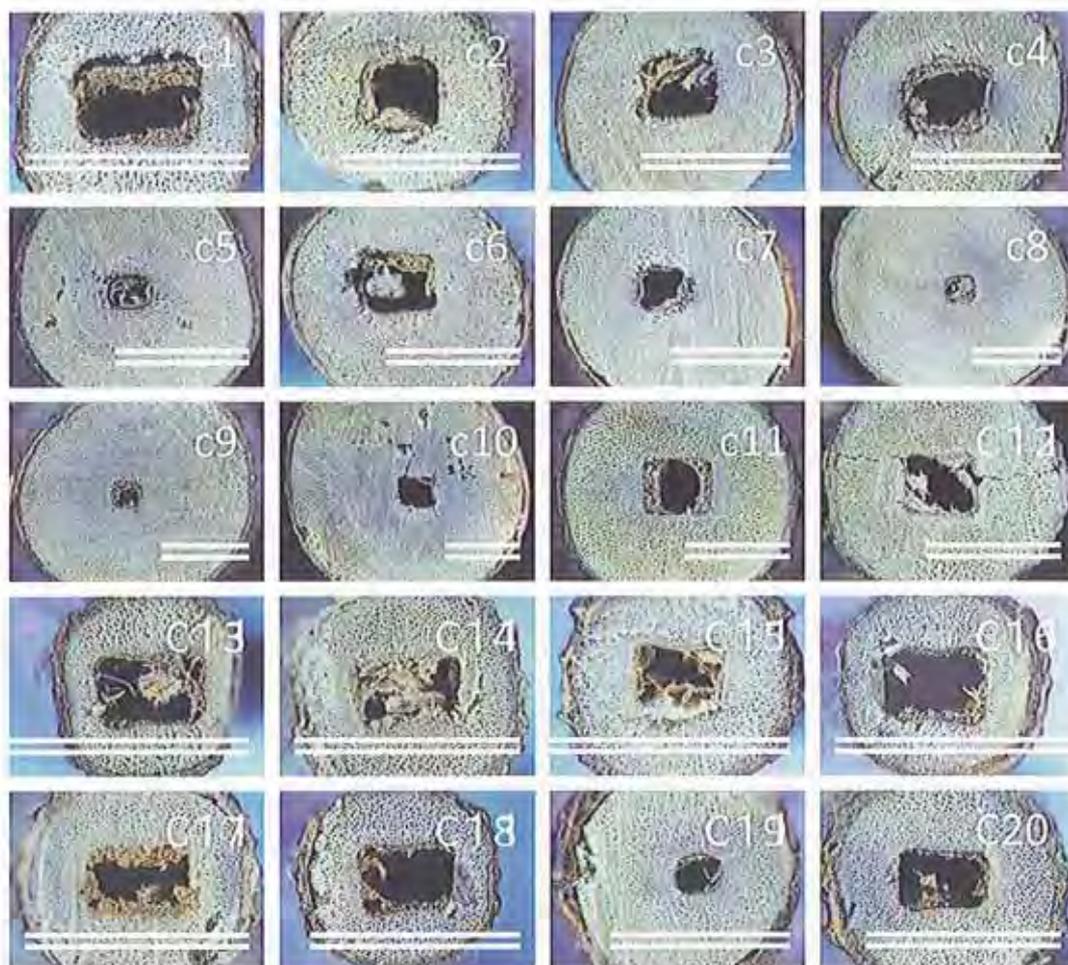


Fig. 2 (I) Cross Sections of the Medullary Cavities of *Sonneratia caseolaris*

Date / Place of sampling:

The plates; c1-c10: 22 Aug., 2009 / Pan Yi River basin, Phangnga Bay, TH.

The plates; c11-c12: 29 Mar., 2009 / Raun River basin, Ranong, TH.

The plates; c13-c20: 26 Aug., 2009 / Khanom River basin, Nakhon Si Thammarat, TH.

Note: Scale bar in each plates equals 3mm.

カニズムとしては、対生葉序との関係が示唆される。しかし、明確な十字対生をもつ後掲の *Bruguiera* 属を含めた他の採集標本において、枝茎およびその髓腔の横断面形態と対生葉序との直接的な相関関係は確認していない。

次に、以上のように *Sonneratia* 属 4 種の枝茎の髓腔横断面が基本的に四角形であるとの特徴に関して、(1) 4 種間の、種の違いによる差異、(2) 幼木から壮齡樹までの生長段階の違いによる差異、(3) 塩分濃度や潮汐作用等の異



Fig. 2 (2) Cross Sections of the Medullary Cavities of *Sonneratia caseolaris*

Date / Place of sampling:

The plates; c21-c40: 26 Aug., 2009 / Khanom River basin, Nakhon Si Thammarat, TH.

Note: Scale bar in each plates equals 3mm.

なる生育環境の違いによる差異等の有無について検討した。

その結果、(1)については、Fig.1 (写真: a1-a20) の *S. alba*, Fig. 2 (1,2) (写真: c1-c40) の *S. caseolaris*, Fig. 3 (写真: g1-g20) の *S. griffithii*, Fig. 4 (写真: o1-o20)

の *S. ovata* の4種間に枝茎(ただし、幹の横断面が観察できたものは *S. alba* の一例のみ)の髄腔横断面形態は共通して四角形であり、明白な種間の差異は認められなかった。

(2)については、採集資料の厳密な生育年数(樹齢)の



Fig. 3 Cross Sections of the Medullary Cavities of *Sonneratia griffithii*

Date / Place of sampling:

The plates; g1-g20: 23 Aug., 2009 / Pan Yi River basin, Phang-nga Bay, TH.

Note: Scale bar in each plates equals 3mm.

特定はできていないが、4～5年程度の幼木 (Fig. 2: 写真 c1-c10) と壮齡樹 (Fig. 2:c11-c10) との、生育段階の違いによる差異は無いように観察された。

(3) の生育環境の違いによる差異の有無については、厳密な環境条件の検討はなされていないが、1日に2回の

潮汐作用が基本のアンダマン海側に河口をもつ Raun 川と Phangnga および Phang Yi 両河川と、1日に1回の干満が基本のタイランド湾側にある Khanom 川のように、少なくとも地域的に異なる3か所の河川流域で採集された *S. cascolaris* の標本資料 (Fig. 2) が示すように、四角形

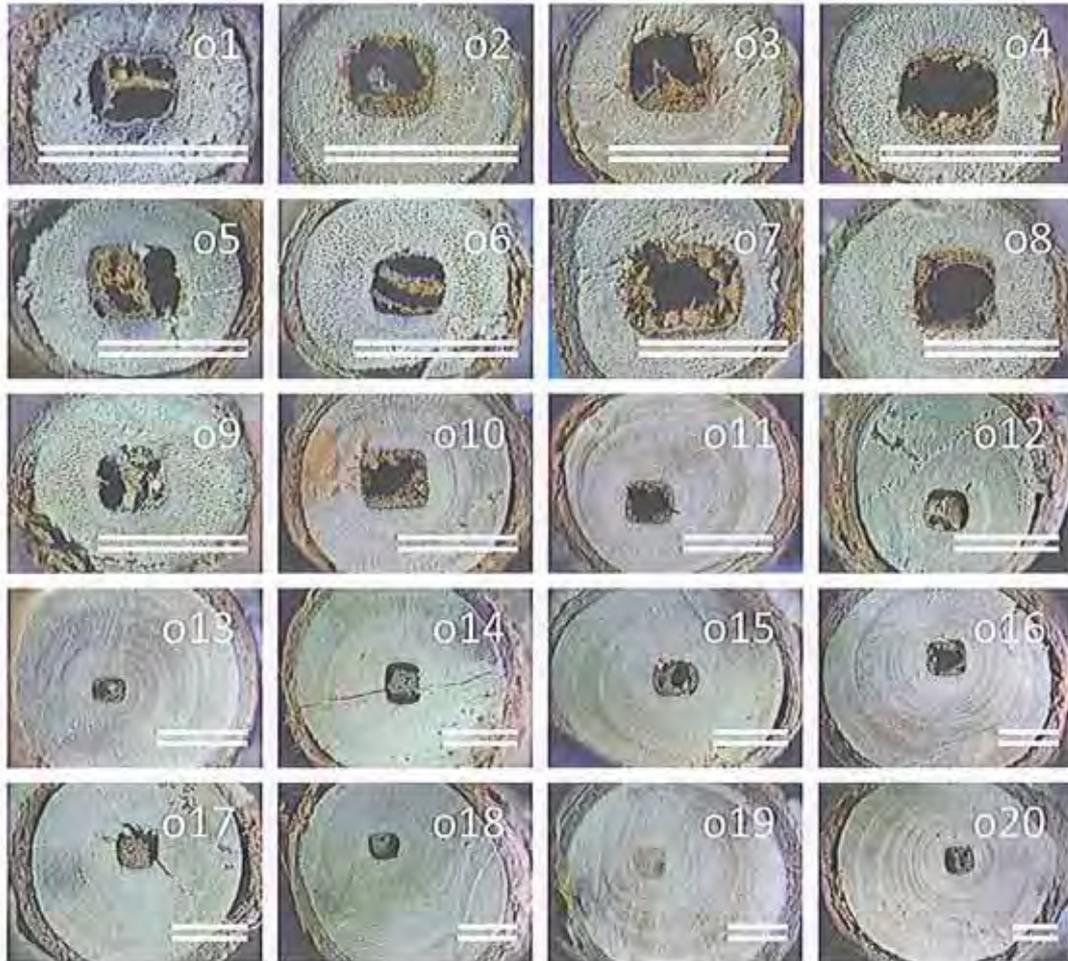


Fig. 4 Cross Sections of the Medullary Cavities of *Sonneratia ovata*

Date / Place of sampling:

The plates; o13-o20: 25 Aug., 2009 / Khanom River basin, Nakhon Si Thammarat, TH.

Note: Scale bar in each plates equals 3mm.

という髄腔横断面の特徴に生育環境差は無いように思慮された。

*Sonneratia* 属4種との比較のため枝茎の断面をみた他のマングローブ植物は, *Avicennia alba*, *A. lanata*, *A. marina*, *A. officinalis*, *Bruguiera gymnorrhiza*, *B. hainesii*, *B. sexangula*, *Rhizophora apiculata*, *R.*

*mucronata*, *Ceriopus decantra*, *Xylocarpus granatum*, *Amoora cucullata*, *Heritiera littoralis*, *Hibisucus tiliaceus*, *Cynometrairipa* 等であるが, それらは全て髄腔が四角形ではなかった。

## 考察

本研究により, *Sonneratia* 属 4 種の髓腔の横断面形態が四角形であるとの新知見を得たが, 同属の他の種類や, ミャンマーやバングラデシュに多い *Sonneratia apetala*, オーストラリア, ニューギニアの *S. lanceolata* や *S. × gulungai* 等についても確認の必要がある。さらに, 同じハマザクロ科の *Duabanga* 属についても調べる必要がある。

また, 円柱形の枝茎の内部組織として角柱形の髓腔が形成されるメカニズムが明らかにされなければならないがこれらはすべて今後の課題である。

## 謝辞

タイ現地での資料の採集等, 本調査研究に与えられた関係機関・関係者, とくに Khanom および Ranong Mangrove Research and Development Center のスタッフおよび Phuket Mangrove Research and Development Center の前所長 Sangob Panitchart 氏には調査に同行し多大のご支援ご協力を頂いた。また, 東北大学附属植物園の鈴木三男教授からは *Sonneratia* 属植物の木材構造に関する文献資料と重要な助言を頂いた。荻野和彦滋賀県立大学名誉教授からも貴重なコメントをいただいた。これらの方々に心からお礼申し上げる。

## 参考文献

- Smit Aksornkoae, Gordon S. Maxwell, Sonjai Havanond and Somchai Panichsuko (1992) : Plants in Mangroves, Chalongrat Co., Ltd.  
 B.F. Clough (1982) : Mangrove Ecosystems in Australia, Australian Institute of Marine Science  
 N. Mark Collins, Jeffrey A. Sayer, Timothy C. Whitmore (1991) : The Conservation Atlas of Tropical Forests

Asia and the Pacific, Macmillan Press.

- Colin Field (ed.) (1988) : Restoration of Mangrove Ecosystems, ITTO/ISME  
 Colin Field (1995) : Journey among Mangroves, ITTO/ISME  
 Shozo Kitamura, Chairil Anwar, Amayos Chaniago and Shigeyuki Baba (1997) : Handbook of Mangroves in Indonesia, JICA/ISME  
 Björn Kjerfve, Luiz Drude de Lacerda and El Hadji Salif Diop (1997) : Mangrove Ecosystem Studies in Latin America and Africa, UNESCO  
 中村武久 (監修) 東京農業大学農業資料室 (2001) : 「ハンドブック海の森・マングローブ」信山社  
 中村武久・中須賀常雄 (1998) : マングローブ入門, めこん  
 Ogura Y. (1940) : On the type of abnormal roots in mangrove and swamp plant, *Bot. Mag. Tokyo*, 54(2), 389-404  
 小倉 譲 (1987) : 植物解剖および形態学, 養賢堂  
 A. T. Panshin (1932) : An anatomical study of the woods of the Philippine mangrove swamps, *Philip Journ. Sci.* 48(2), 143-203  
 清水建美 (2001) : 図説 植物用語事典, 八坂書房  
 Mark Spalding, François Blasco and Colin Field (1997) : World Mangrove Atlas, ISME  
 Qiang Sun, Mitsuo Suzuki (2000) : Wood anatomy of mangrove plants in Iriomote Island of Japan: a comparison with mangrove plants from lower latitudes, *Acta Phytotax. geobot.* 51(1), 37-55  
 P.B. Tomlinson (1986) : The Botany of Mangroves, Cambridge University Press  
 山田 勇 (1991) : 東南アジアの熱帯多雨林世界, 創文社



## タイのマングローブ林に分布するシダ植物とその生育特性

皆川礼子<sup>1)</sup>・松本 定<sup>2)</sup>

## Flora of ferns and fern allies and the growth ecology in mangrove forests of Thailand

Reiko Minagawa<sup>1)</sup>, Sadamu Matsumoto<sup>2)</sup>

**Abstract:** Several species of ferns and fern allies were collected from mangrove forests including the back mangrove and ecotone in Phang-nga Bay area, Kuraburi River, La-un River and Khanom River, Thailand. Thirty-nine species in 17 genera of mangrove ferns and fern allies were recorded. The distribution range and growth form of these species were classified: 9 species were terrestrial, 26 species were epiphytic and four species were climber. *Pityrogramma calomelanos* from South America was introduced to the mangrove forests at the upper parts of the Pan Yi River.

**Keywords:** Mangrove ferns, growth form, Mangrove, Thailand

## はじめに

マングローブ林は特殊な立地環境に成立するため、林内に生育する植物も種類が限定され、フロラは種子植物を中心にまとめられていることが多い。シダ植物ではマングローブとしてランクされているのは *Acrostichum* のみである。しかし、Plate 1 に示すようにマングローブ林内にはシダ植物が多数生育しており、いずれもマングローブのランク外とされており、記録されることは少ない。南太平洋地域のマングローブの生態学的調査(中村ほか 1986, 佐々木ほか 1992)ではマングローブ林内の出現種としてシダ植物が数種類記録されているが、特に目立つ種類に限られていて、マングローブ構成種として位置づけされていない。



Plate. 1 Inside area of the mangrove forest at the Pan Yi River, Phang-nga Bay.

今までにマングローブ林に生育しているシダ植物は Tomlinson P.B. が *The Botany of Mangrove* に 13 種を記載し、東南アジアのマングローブに分布するシダ植物は 16 種(中村ほか 1985)、24 種(Giesen, W. *et al.* 2006)が報告されている。タイのシダ植物の種類と地理分布は *Flora of Thailand* Vol. 3 (Tagawa, M. *et al.* Iwatsuki, K. 1979-1989) にまとめられ、マングローブ林に分布する種類も記述されている。

1982 年から 1983 年にタイのマングローブの植物社会学的な植生調査が行なわれ、シダ植物が区分種となる群集 *Acrostico-Xylocarpion* や 並群集として *Acrosticho-Xylocarpetum moluccensis* や *Acrostichum aureum* community, *Acrostichum speciosum* community などの群落単位が記載されている(宮脇ほか 1985)。また、2003 年から 2004 年の間にバンガ湾バンジー川周辺のマングローブ林内の着生シダの着生生態に関する研究が行なわれている(木村 2005)。しかし、それらのほとんどは証拠標本がなく、種の同定については明らかではない。1995 年以降、タイのマングローブ林を継続調査したところ、新たに記録された種類が数種あった。そこでタイ半島部のマングローブ林で採集されたすべてのシダ植物の標本を基にリストを作成し、それらの分布を整理した。さらにバンガ湾バンジー川流域においてシダ植物の生育場所とその環境を調査し、それぞれの生育特性を明らかにした。

この調査研究を遂行するにあたり、Thailand Environment Institute の Sanit Aksoenkoae 教授、当時 Department of Marine and Coastal Resources の Sonjai Havanond 博士、Sopon Havanond 氏、Sangob Panitchart 氏に現地調査の便宜を図っていただいた。また、シダ植物の同定は東京農業大学名誉教授中村武久先生の協力をい

<sup>1)</sup> 東京農業大学 東京都世田谷区桜丘 1-1-1

Tokyo University of Agriculture, 1-1-1 Sakuragaoka, Setagaya-ku, Tokyo 156-8502, Japan

(E-mail: reicom@nodai.ac.jp)

<sup>2)</sup> 国立科学博物館植物研究部 つくば市天久保 4-1-1

National Museum of Nature and Science, Tsukuba Botanical Garden, 4-1-1 Amakubo, Tsukuba-shi, Ibaraki, 350-0005, Japan

(E-mail: matumoto@kahaku.go.jp)

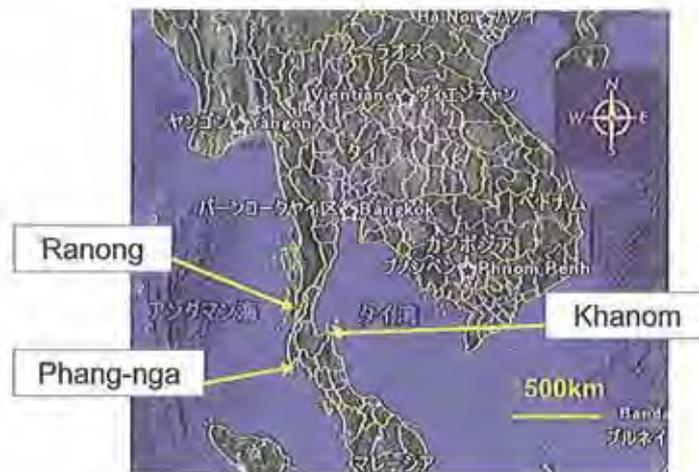


Fig. 1 Map of survey areas in the Peninsula of Thailand.

ただいた。現地調査には CBCC Institutes and Colleges の Gordon S. Maxwell 教授、東京農業大学、横浜国立大学、明治大学の学生の皆さんの協力を得た。また、さく葉標本整理は小嶋あけみさんに手伝っていただいた。ここに記して感謝の意を表します。

### 調査地および調査方法

#### 1. 調査地

タイ半島部アンダマン海に面したバンガ県バンガ湾のパンジー川流域、ラノン県クラブリ川流域とラウン川流域、タイランド湾に面したナコンシクマラート県カノム川流域のマングローブ林内でそれぞれの調査を行なった (Fig.1)。バンガ地域のマングローブ林の概要

バンガはアンダマン海に面したマレー半島に位置し、外洋側のカオラックの海岸やタクアバ沿岸は 2004 年 12 月にインド洋大津波による被害を受けた。タクアバのマングローブ林は植林が行なわれ、再生されている。バンガ湾はブーケット島の北東側に位置し、広大なマングローブと海洋城が 1981 年にバンガ湾国立公園に指定され、バンガ湾内には石灰岩からなる岩礁や島々が点在している。年間の気温は 21.0 ~ 34.0℃、降水量は約 2500mm、5 月から 10 月にかけて雨季になる。バンガ湾内湾の遠浅な汀線沿いや河川の河口域には *Avicennia alba* と *Sonneratia alba* の優占する高木林、川幅の広い河川沿いには *Rhizophora mucronata* と *R. apiculata* の混生林、*Avicennia officinalis* と *Sonneratia alba* の混生林、川幅が狭くなると *Aegiceras corniculatum*、*Xylocarpus granatum*、*Bruguiera cylindrica*、*Bruguiera parviflora* などが混生し林縁を構成している (宮脇ほか 1985、中村ほか 1985)。

ラノン地域のマングローブ林の概要

ラノンはアンダマン海に面したマレー半島に位置し、対岸はミャンマーになる。タイマングローブ研究センターの

周辺は 1997 年ユネスコ MAB 保護地域に指定され、現存しているタイのマングローブ林で最も高木樹が生育している。年間の気温は 20.0 ~ 34.4℃、降水量は約 4200mm、5 月から 10 月にかけて雨季になる。12 月から 3 月にかけて乾季になり、降水量は減少する。クラブリ川の前面群落は *Sonneratia alba* と *Avicennia alba* の優占する高木林で構成され、林内には樹高 40m を超える *Rhizophora apiculata* や *Avicennia marina* が生育している。ラウン川の両岸には *Kandelia candel* が点在し、林縁には *Browlowia tersa* が小群落を形成している。ラウン川河口のマングローブ後背域には *Xylocarpus moluccensis* の高木や *Hecitiera fomes*、*Diospyros malabarica* などの混生林が分布している。

カノム地域のマングローブ林の概要

カノムはタイランド湾に面したマレー半島に位置し、遠浅の海岸線と海岸に接した丘陵に囲まれた小さな湾が連続している。カノム川河口は漁港になり、広大なマングローブ林は漁港より上流の河川両側に分布する。年間の気温は 20.0 ~ 33.7℃、降水量は約 1900mm、5 月から 11 月にかけて雨季になり、特に 11 月に降雨量が増加する。カノム川の下流は *Rhizophora apiculata* と *R. mucronata* の混生林が見られる。中流域には *R. apiculata* と *Xylocarpus granatum* の混生林、上流には *Lumnitzera littorea* の高木が点在している。最上流部は塩分濃度の低い汽水域になり、*Bruguiera sexangula*、*Cerbera manghas*、*Cynometra raniflora*、*Intsia bijuga*、*Barringtonia racemosa* などが生育している。

#### 2. 調査方法

##### 生育特性の調査

シダ植物の生存環境調査はベルトトランセクト法を用いて行なった。川岸最前面の樹木を基点とし、林内に 5m ×

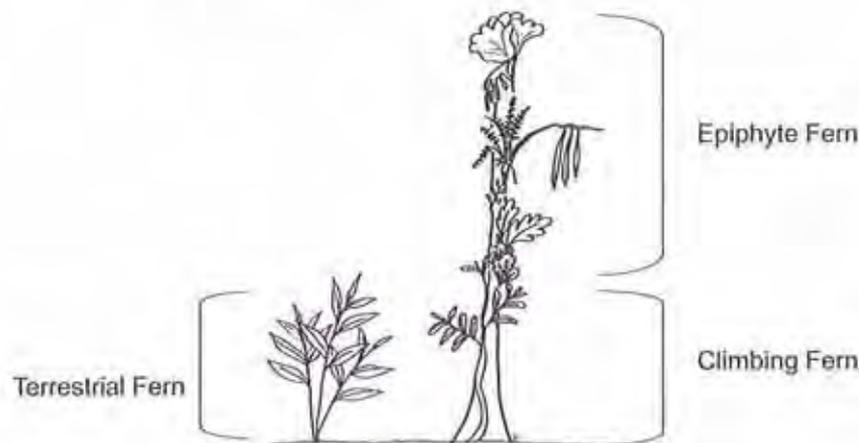


Fig. 2 Illustration of growth forms of ferns in Mangrove forest.



Plate. 2 *Acrostichum aureum* (left) and *A. speciosum* (right) at the Pan Yi River, Phang-nga Bay.

100mのベルトを設置し、出現したシダ植物を記録した。シダ植物は生育形態を記録し、着生シダは着生形態と着生位置、登はんシダは登はんの最高位の高さを計測した。さく葉標本とリストの作成

ベルトトランセクト法を用いて調査を行なった調査区内に出現したシダ植物、およびマングロープ林全域において出現したシダ植物を採集し、さく葉標本を作成した。作成したさく葉標本を同定し、リストを作成した。リストの科の配列はSmith A. et al. (2006)に従った。さく葉標本は国立科学博物館植物研究部標本室 (TNS) に收藏した。

### 結果および考察

#### 1. マングロープ林内のシダ植物

タイのマングロープ林に生育しているシダ植物をTab.1に示す。11科17属38種1品種が確認された。シダ植物はFig.2に示す生育形態により3区分し、地生シダ9種、着生シダ26種、登はんシダ4種に分けられた。出現種が多い科はPolypodiaceae12種とPteridaceae7種であった。

#### 1-1 地生シダ

地生シダはマングロープにランクされている *Acrostichum aureum* と *Acrostichum speciosum* (Plate 2) の他にマングロープ後背域、マングロープ林内のギャップ、川岸の林縁などに生育していた。 *Acrostichum aureum* と *Acrostichum speciosum* の形態は明らかに異なるが、中にはその中間型が見られ、両種の雑種の可能性があることが示唆された。マングロープ後背域から熱帯低地林への移行帯、マングロープ林内の丘陵地の森林を伐採して植林されたパラゴムのプランテーションの周辺、マングロープ林の後背域に接する石灰岩の岸壁などで潮汐による浸水はないが、地下水や波浪による塩分の影響がある地域に *Dicranopteris linearis*, *Doryopteris ludens*, *Taenitis blechnoides*, *Christella dentata*, *Cyclosorus interruptus*, *Blechnum orientale* などの地生シダが生育していた。また、近年世界の熱帯に帰化し、広がっている南米原産の *Pityrogramma calomelanos* がバンジー川上流に生育していた。小さな株も確認され、この地域で明らかに繁殖して

Table. 1 Ferns and fern allies of mangrove forest in Thailand.

Family	spp.	Growth form
Lycopodiaceae		
	<i>Huperzia hamiltonii</i> (Spreng) Trevis	E
	<i>Huperzia carinata</i> (Desv. ex Poir.) Trevis	E
Ophioglossaceae		
	<i>Ophioglossum pendulum</i> L.	E
Psilotaceae		
	<i>Psilotum nudum</i> (L.) P.Beauv.	E
Gleicheniaceae		
	<i>Dicranopteris linearis</i> (Burm.f.) Underw.	T
Lygodiaceae		
	<i>Lygodium flexuosum</i> (L.) Sw.	C
	<i>Lygodium microphyllum</i> (Cav.) R.Br.	C
	<i>Lygodium polystachyum</i> Wall.	C
Pteridaceae		
	<i>Acrostichum uarum</i> L.	T
	<i>Acrostichum speciosum</i> Willd.	T
	<i>Doryopteris ludens</i> (Wall. ex Hook.) J.Smith	T
	<i>Pityrogramma calamelanas</i> (L.) Link.	T
	<i>Taenitis blechnoides</i> (Willd.) Sw.	T
	<i>Vittaria elongata</i> Sw.	E
	<i>Vittaria ensiformis</i> Sw.	E
Aspleniaceae		
	<i>Asplenium nidus</i> L.	E
Thelypteridaceae		
	<i>Christella dentata</i> (Forsk.) Brownsey et Jenny	T
	<i>Cyclosorus interruptus</i> (Willd.) H.Ito	T
Blechnaceae		
	<i>Blechnum orientale</i> L.	T
	<i>Stenochlaena palustris</i> Bedd.	C
Lomariopsidaceae		
	<i>Nephrolepis acutifolia</i> (Desv.) Christ.	E
	<i>Nephrolepis biserrata</i> (Sw.) Schott	E
	<i>Nephrolepis falcata</i> (Cav.) C.Chr.	E
Davalliaceae		
	<i>Davallia denticulata</i> (Burm.) Mett.	E
	<i>Davallia solida</i> (G.Forst.) Sw.	E
	<i>Humata heterophylla</i> (Sm.) Desv.	E
	<i>Humata pectinata</i> (Smith) Desv.	E
Polypodiaceae		
	<i>Drymoglossum piloselloides</i> (L.) C.Presl	E
	<i>Drynaria quercifolia</i> (L.) J.Sm.	E
	<i>Drynaria rigidula</i> (Sw.) Bedd.	E
	<i>Drynaria sparsisora</i> (Desv.) S.Moore	E
	<i>Lecanopteris sinuata</i> (Wall. ex Hook.) Copel.	E
	<i>Microsorium punctatum</i> (L.) Copel.	E
	<i>Phymatosorus scolopendria</i> (Burm.f.) Pic.Serm.	E
	<i>Phymatosorus</i> sp. (aff. <i>P. papuanus</i> )	E
	<i>Platyxerium carolinianum</i> (Koen.) Desv.	E
	<i>Pyrrosia lanceolata</i> (L.) Farw.	E
	<i>Pyrrosia lanceolata</i> form. <i>Cristata</i>	E
	<i>Pyrrosia longifolia</i> (Burm.f.) Monton	E

T: Terrestrial fern, E: Epiphyte fern, C: Climbing fern.

1. This list was made based on the specimens which were collected from 1995 to 2010.

2. This list was arranged by Smith et al. (2006) system.

いる。地生シダはマングロープ林周辺の開発による林内の環境が変化すると共に種数が増加することが考えられる。

### 1-2 着生シダ

マングロープ林内の着生シダとして代表的な *Nephrolepis acutifolia*, *Nephrolepis biserrata*, *Nephrolepis falcata*, *Davallia denticulata*, *Davallia solida* などは樹高 15 m 以上の高木や胸高直径 50 cm の高齢木に着生することが多い。また、陸化したマングロープ林内には *Drynaria quercifolia*, *Drynaria sparsisora*, *Asplenium nidus* などの着生シダが出現し、飾り葉や鳥の巣状に広がった葉の根元の腐葉上に *Pyrrosia longifolia*, *Vittaria elongata*, *Vittaria ensiformis* などが生育していることが多い。また、マングロープ林内では非常に希少な *Huperzia hamiltonii*, *Huperzia carinata*, *Ophiloglossum pendulum*, *Psilotum nudum* などの着生シダも確認された。*Platycterium coronarium* は観賞価値があり、大きな株は採集され販売されることも多く、個体数は激減している。マングロープ林縁や林内の倒木に着生している *Phymatosorus scolopendria* (Plate 3) はマングロープから低地林に及んで分布しているが、これに非常に類似している *Phymatosorus* sp. (aff. *P. papuanus*) (Plate 4) が記録された。これは本来、山地林に分布し、低地やマングロープに生育することはないが、マングロープ林内の乾燥による陸地化などの環境変化により分布域を拡大したものと思われる。今後の調査により明確にされたいと思われる。*Pyrrosia lanceolata* (Plate 5) はマングロープ林では個体数の多い種類だが、分類学的に未検討とされており、さらに標本を精査することが望まれる。川の上流部、バックマングロープ種に有刺植物の *Phoenix paludosa*, *Merope*

*angulata*, *Caesalpinia crista* が混生する森林にはアリ植物の *Lecanopteris sinuosa* が出現した。

着生シダはマングロープ林構成種と環境により、出現種が著しく異なるため、マングロープの環境指標植物と位置づけられる。

### 1-3 登はん性シダ

マングロープ林で見られる登はん性シダの *Stenochlaena palustris* は大型で、林内の陸地化の進んだ地域に生育していて、*Xylocarpus moluccensis* の樹幹に高さ 15 m まで登はんすることがある。また、小型の *Lygodium* spp. は林縁の明るい場所や乾燥したアナジャコの泥塚の上などに繁茂していた。マングロープ林内にはシダ植物以外のつる植物の生育が多く見られ、*Finlaysonia maritima* や *Acanthus volubilis* のように浸水する種類と比較すると、シダ植物は満潮時にも冠水しない立地に分布している。登はん性のシダは種類が限られている。

## 2. マングロープ林内のシダ植物の生育特性

### 2-1 マングロープ林内の生育分布

バンジー川流域のマングロープ林に出現するシダ植物の生育形態と分布域を Fig. 3 に示す。地生シダは最も川岸に *Acrostichum aureum* が出現し、林内に *Acrostichum speciosum* が広範囲に分布し、両種間のすみ分けが見られた。大きなアナジャコの泥塚周辺に *A. speciosum* は群落を形成するが、*A. aureum* の分布は確認できなかった。両種の生育地の中間部に混生群落が出現することがある。林縁や林内のギャップの乾燥したアナジャコの泥塚周辺に *Ligodium* spp. が分布している。*Caesalpinia crista* や *Flageratia indica* などのつる植物と混生し、マングロープ



Plate 3. *Microsorium scolopendria*, TNS9545296, coll. Reiko Minagawa.

Plate 4. *Phymatosorus* sp. (aff. *Phymatosorus papuanus*), TNS9546191, coll. Takehisa Nakamura.

Plate 5. *Pyrrosia lanceolata*, TNS9544945, coll. Reiko Minagawa.

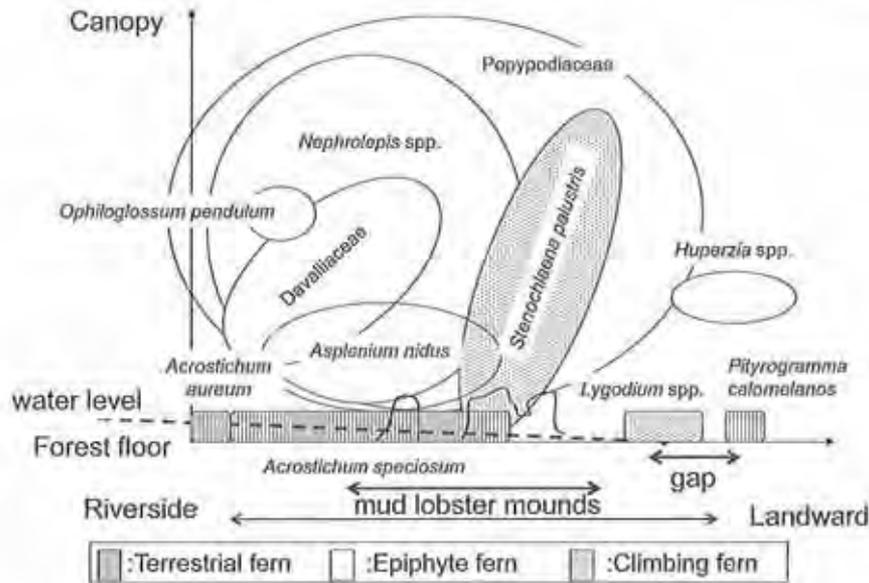


Fig. 3 Distribution of ferns and growth forms in the mangrove forest.

林の陸地化現象の指標となる。*Asplenium nidus* は大きな鳥の巣状に葉を広げる着生シグで、熱帯多雨林内ではホストツリーの高位置に着生することが多いが、マングローブ林内では高位高潮線付近から1~2mの高さに出現していた。*Huperzia hamiltonii*, *Huperzia carinata* は林内に、*Ophiloglossum pendulum* は林縁の木濡れ目のあたる場所に着生していた。これらはわずかな環境の変化により生育できなくなり、パンジー川流域でも生育箇所は限られている希少種である。Davalliaceaeの4種は林縁から林内中部までに分布していた。特に*Humata*2種は上流部の限られたところに生育しており、今後、個体数の減少が懸念される。*Nephrolepis* spp. は林縁から林内中央部まで出現するが、若齢林では確認できなかった。Polypodiaceaeは12種が林縁から林内後背域の広範囲に分布し、それぞれすみ分けが確認された。

#### 2-2 *Nephrolepis* 3種の生育分布

*Nephrolepis* 3種の生育分布をFig.4に示す。*Nephrolepis* はPlate6に示すようにマングローブ林の代表的な着生シグである。*N. acutifolia* は林縁から林内中央部の高位高潮線付近から高さ10m付近にかけて出現した。着生位置がホストツリーの林冠部に達することはない。ホストツリーは*Bruguiera gymnorhiza*, *Xylocarpus granatum*, *X. moluccensis* の高木で、樹幹に根茎を巻きつけるように着生していた。高位置に着生している株からは長さ約2mの葉身も確認された。

*N. biserrata* は林内中央部付近の高さ5m付近から林冠付近にかけて出現した。ホストツリーは*Xylocarpus granatum*, *X. moluccensis* の高木で枝分かれ部分や折れた枝の痕跡などに着生していた。*N. acutifolia* と混生して

いることが多く確認された。

*N. falcata* は山地林に分布する種類であったが、近年マングローブ林で生育が確認され、個体数は少ないがマングローブ林の林縁や林内の木路付近の*Xylocarpus granatum* に着生していた。他の2種は高木に着生していたのに対し、樹高5~10m、DBH約20cmのホストツリーが多かった。*N. falcata* は他種と混生することなく単独で着生していた。また、環境の変化に弱く、短期間で枯死することが確認された。

#### 2-3 Polypodiaceaeの生育分布

Polypodiaceaeの生育分布をFig.5に示す。12種類のPolypodiaceaeの着生シグが記録された。*Bruguiera gymnorhiza* や*X. moluccensis* の高木の林冠部にはマングローブ林で最も大きな着生シグである*Platyserium coronarium* が生育していた。高位置に着生するため個体が大きく生長しなければ確認できず、正確な分布を把握することは困難だが、観賞価値があることから乱獲され個体数は減少している。*Pyrrhosia* は2種記録され、林縁から林内にかけてホストツリーの高位置の枝に着生する*Pyrrhosia longifolia* と林縁から林内の高位高潮線付近から高位置の広範囲に分布する*Pyrrhosia lanceolata* のすみ分けが見られた。*P. lanceolata* は多くの樹種に着生し、後背域の*Phoenix paludosa* や*Excoecaria agallocha* もホストツリーになっていた。また、耐乾性があり、乾季には乾燥し葉身が縮んでいる。*Drynaria* は2種とも生育環境が類似し、同一ホストツリー上に混生していて

すみ分けは見られなかった。林縁から林内の広範囲に分布し、ホストツリーを被いつくすように密生することがあった。*Drymoglossum piloseloides* は林縁付近から林内中央

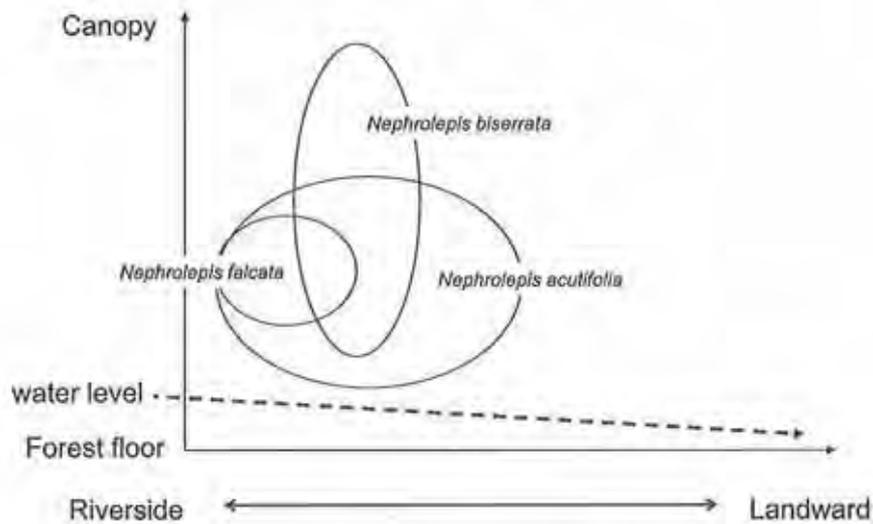


Fig. 4 Distribution of *Nephrolepis* spp. in the mangrove forest.



Plate. 6 *Nephrolepis* is a kind of famous epiphytic fern in the mangrove forest; *Nephrolepis acutifolia* and *Nephrolepis biserrata*.

部の水路の近くに分布していた。特に *Heritiera littoralis* をホストツリーにしていた。*Microsorium punctatum* は林内の木漏れ日の当たる場所に分布し、高位高潮線にかかる場所から高位置まで着生していた。*Phymatosorus* 2種は生育環境が類似し、林内のギャップに分布することが多い。*P. scolopendrium* は出現頻度が高いが *P. papuanus* は個体数が非常に少ない。高位高潮線付近からホストツリーの中位置に生育していた。*Lecanopteris sinuosa* は林縁から川に張り出した枝に着生し、生育環境は限定されていた。同地域には *Lecanopteris* と同様のアリ植物 *Myrmecodia tuberosa* や *Dischidia major* も出現すること

からマングローブ移行帯の指標となっている。

### 3. 考察

マングローブ林に生育するシダ植物はマングローブ林内全域に出現するものではなく、それぞれのシダの生育環境に適したわずかなエリアに分布していることが明らかになった。植物体が浸水するのは *Achrostichum* 2種であり、その他のシダは高位高潮線より上位の位置に分布していた。着生シダのマングローブ林内での繁殖は保温性のある環境を必要とし、枝の折れた痕跡などに雨水の溜まった場所や樹皮に凹凸のある樹木がホストツリーとなりや

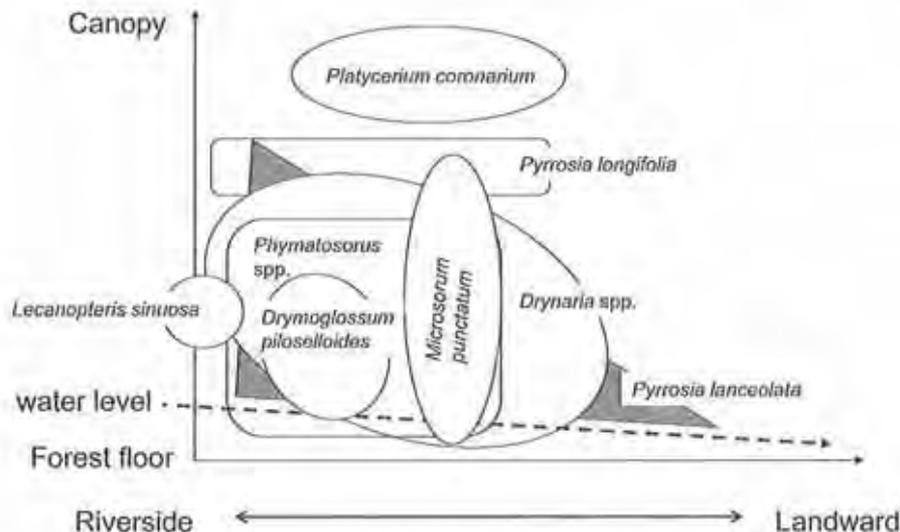


Fig. 5 Distribution of Polypodiaceae in the mangrove forest.

すい、また、着生シダのバイオニア種となる *Nephrolepis acutifolia* の株や *Drynaria* spp. の篩り葉内の腐葉土は他の着生シダの繁殖の適地と考えられ、着生シダの混生する要因と考えられる。

マングローブ林はシダ植物の生育には必ずしも好環境とは言えない。しかし、徐々に分布種数が増加しているということはマングローブ林が遷移により陸地化していることを示唆している。マングローブ林に分布するシダ植物はそれぞれの現在生育している環境のわずかな変化でも枯死する繊細な植物群であるため、その遷移過程の中で環境の変化の指標種となることが明らかになった。

### 引用文献

- Giesen, W., Wulffraat, S., Zieren, M. and Scholten (2006): Mangrove guidebook for Southeast Asia. 222-269. FAO and Wetlands international. Bangkok.
- 木村法実 (2005): タイ国マングローブ林内に生育する着生シダの植生生態学的研究. 12-20. 横浜国立大学大学院環境情報学府修士論文. 横浜.
- Miyawaki, A., Okuda, S., Fujiwara, K., Suzuki, K., Ohno, K., Nakamura, Y., Murakami, Y., Suzuki, S. and Aksornkoae, A. (1985): Vegetation mapping of mangrove forest in Thailand. マングローブ研究. 9-22. 東京農業大学総合研究所. 東京.
- 宮脇昭・奥田重俊・鈴木邦雄・藤原一繪・中村幸人・村上雄秀・大野啓一・鈴木伸一・Sabhasiri, S. (1985): タイ国マングローブ林の植生学的研究. タイ国マングローブ林の植生学的研究 (宮脇昭 編). 1-100. 横浜国立大学環境科学センター植生学研究室. 横浜.
- 中村武久・鈴木邦雄 (1986): パラオ諸島の植物群落 - ミクロネシアの植物生態学的研究 III -. 植物地理・分類研究. 34, 40-55.
- 中村武久・福岡誠行・中須賀常雄・鈴木邦雄・近藤勝彦・Santisuk, Thawachai・Aksornkoae, Sanit・Havanon, Sopon (1990): 東南アジアのマングローブ植物とその生態. 東南アジアのマングローブ - その生態と生理 -. 2-9. 東京農業大学総合研究所. 東京.
- 中村武久・鈴木邦雄・楢垣宮都 (1985): タイ国マングローブ植生の群落区分と群落構造 - Ranong および Phangnga を中心として -. タイ国マングローブ林の植生学的研究 (宮脇昭 編). 101-114. 横浜国立大学環境科学センター植生学研究室. 横浜.
- 佐々木幸・加藤茂・中村武久 (1992): 南太平洋地域マングローブ林の生態的特性. 東京農業大学総合研究所紀要. 3, 11-34.
- Smith, Alan R., Pryer, Kathleen M., Schuettpelz, Eric, Korall, Perta, Schneider, Harald et Wolf, Paul G. (2006): A classification for extant ferns. TAXON. 55, 705-731.
- Tagawa, M. et Iwatsuki, K. (1979): Pteridophytes. Flora of Thailand, 3 (1), 1-128. Royal Forest Department. Bangkok.
- Tagawa, M. et Iwatsuki, K. (1985): Pteridophytes. Flora of Thailand, 3 (2), 129-296. Royal Forest Department. Bangkok.
- Tagawa, M. et Iwatsuki, K. (1988): Pteridophytes. Flora of Thailand, 3 (3), 297-480. Royal Forest Department. Bangkok.
- Tagawa, M. et Iwatsuki, K. (1989): Pteridophytes. Flora of Thailand, 3 (4), 481-639. Royal Forest Department, Bangkok.
- Tomlinson, P.B. (1986): The botany of mangroves. 33, 312-317. Cambridge university press. New York.

## Ecological Assessment on the Success of Mangrove Restoration in Pak Phanang Bay, Nakhon Si Thammarat, Southern Thailand

Nittharatana Paphavasit, Ajcharaporn Piumsomboon and Itchika Sivaipram

**Abstract:** Mangrove forests in Pak Phanang estuary have been through three important phases as others in Thailand. Before 1961, the mangrove forests in Pak Phanang Estuary were pristine and rich in diversity. The transition phase commenced from 1962 onward to 1996, where mangrove reclamation and utilization activities in particular the expansion of shrimp farming and urbanization, have diminished 87.97% of the total mangrove area. Mangrove restoration and afforestation efforts began since 1960 but not until 1982 that the mangrove reforestation and afforestation in the bay have been planned and implemented. Ecological assessment on the success of mangrove restoration were carried out in selected mangrove plantations of different ages on the eastern coastline. Assessment on ecosystem integrity was carried out in order to determine whether the existing diversity and biological productivity should sustain the ecosystem indicators with emphasis on fishery resources. Forest productivity assessed from different age mangrove plantations revealed that these mangrove plantations were productive and in the developing and climax conditions. Forest production and natural regenerations were in the category of productive forests. High primary production were recorded in the mangrove forests. Zooplankton compositions of copepods, copepod nauplii, bivalves larvae, gastropod larvae and polychaetes larvae were dominant. The ratio of meroplankton in the plankton communities could indicate the ecosystem health. Benthic communities in the area also indicated the environmental quality and fishery productivity. Change in the fish community in forests confirmed the role of mangrove reforestation supported the availability of habitat and food sources. Based on the food web analysis in these mangrove plantations indicated that the system in balanced due to the productivity and complexity in the food webs.

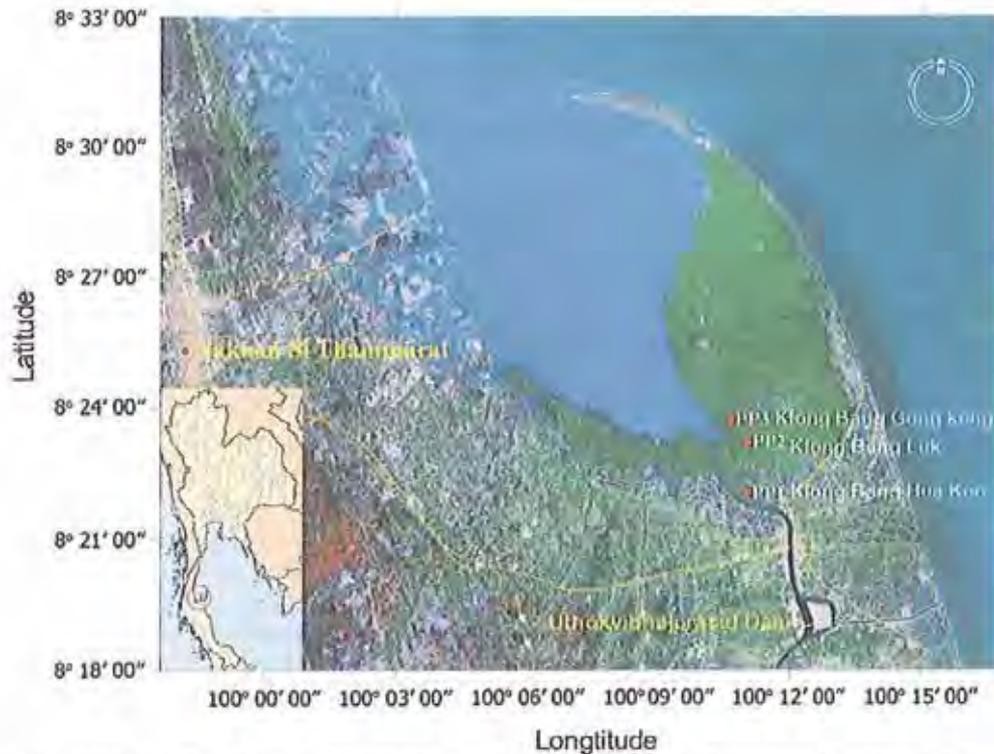
**Keywords:** Mangrove restoration, Ecological assessment, Ecosystem integrity, Ecological indicators

### Introduction

Pak Phanang Bay system is a small, shallow estuary in the Gulf of Thailand in Nakhon Si Thammarat Provinces, Southern Thailand. It receives discharges, sediment and nutrients from Pak Phanang River and tributaries. Pak Phanang Bay system is one of the richest and most diversified in term of fishery resources. The estuary was once lined with rich dense mangrove forests due to mangrove reforestation programs launched by the Royal Department of Forestry. Unplanned urban expansion and intensive shrimp farming in the Pak Phanang watershed in the past 25 years has resulted in the deteriorating environment quality and degraded mangrove forests. Conflicts of interests in land use and saline water intrusion in the upland agricultural area has led to the Royal-initiated Pak Phanang Basin Area Development Project with the construction of the Uthokvibhajaprasid Dam. The dam was designed to prevent the intrusion of saline water and retain freshwater in the water course for people daily use for agriculture and consumption. However the operation of the dam has disrupted the

circulation and water exchange processes. This in turn has affected the water quality in term of salinity changes and nutrient loading. These environmental changes have shown pronounced impact on the biodiversity and fishery resources.

Mangrove forests in Pak Phanang estuary have been through three important phases as others in Thailand. Before 1961, the mangrove forests in Pak Phanang estuary were pristine and rich in diversity of more than 20 species. The forests dominated by *Avicennia marina*, *A. alba*, *A. officinalis*, *Sonneratia caseolaris*, *S. alba*, *Rhizophora apiculata*, *R. mucronata*, *Xylocarpus granatum*, *Bruguiera* spp. and *Lumnitzera* spp. The transition phase commenced from 1962 onward to 1996, where mangrove reclamation and utilization activities in particular the expansion of the shrimp farming and urbanization, have diminished 87.97% of the total mangrove area. Mangrove reforestation and afforestation effort began since 1960 due to high sedimentation rate. Siltation in the bay is rapid due to high suspended sediment from the rivers. Major pioneer species were *Avicennia* spp. and *Sonneratia* spp.. These pioneer species were replaced by *Rhizophora* spp.,



**Figure. 1** Study sites in Pak Phanang mangrove forest, Nakhon Si Thammarat Province, Southern Thailand

*Xylocarpus* spp., *Brugiera* spp., *Ceriops* and *Lumnitzera* spp.. It was not until 1982 that the mangrove reforestation and afforestation in the bay had been planned and implemented by the Royal Department of Forestry with emphasis on the economic species only, *R. apiculata* and *R. mucronata*. Later from 1985 onward the department has put efforts on the mangrove planting in the abandoned shrimp farms with *R. mucronata* and *R. apiculata*, the major species. As the results of these efforts, mangrove plantations of different ages dominated the bay. These mangrove forests served as nursery grounds, permanent habitats and breeding grounds as well as feeding grounds for fishery resources.

The assessment of the success of mangrove restoration/reforestation efforts is necessary. The assessment should served to document effects of mangrove restoration that are of ecological and social important secondly the assessment is to ensure that the restoration process is conducted to minimize any impacts to the coastal resources. Lastly the restoration evaluation/assessment should provide information served a database for the management of restored mangrove forests and for wise use of its resource.(Paphavasit, *et al.*, 2008b) It is important

to select the indicators that best represent ecological responses to restoration effort and also meaningful relative to societal values. Forest production and litter production as forest productivity was usually used as the indicator of mangrove restoration. Development of ecological indicators as the assessment of mangrove restoration should be based on linkage of ecosystem components in order to demonstrate the whole picture not as a fraction. The assessment should be designed to measure the success of the mangrove restoration/reforestation programme in reestablishing ecosystem integrity which implies balanced, healthy and productive characteristics of the ecosystem. Ecological assessment on the success of mangrove restoration were carried out in selected mangrove plantations to different ages on the eastern coastline of Pak Phanang Bay. Assessment on ecosystem integrity in holistic approaches based on the status of biological productivity mainly the mangrove forest and fishery productivity were carried out.

### Materials and Methods

Pak Phanang mangrove forest was divided into two parts, western and eastern coastline by Pak Phanang Bay.

The study area were located on the eastern coastline; mangrove plantation of 40 years (PP1) – Klong Bang Hua Koo dominated by *A. alba* and *R. apiculata*, mangrove plantation of 30 years (PP2) – Klong Bang Luk dominated by *R. apiculata* and *R. mucronata* and mangrove plantation of 20 years (PP3) – Klong Bang Gong Kong also dominated by *R. apiculata* and *R. mucronata* as shown in Figure 1.

#### Forest structure and productivity

Forest structures were determined from transect lines from the seaward margin of the forest at right angles to the edges of the mangrove forest. Species composition density and height in each subsequent 10 m × 10 m plots along the belt transect were recorded. Seedlings (girth less than 4 cm and height less than 1.30 m) identified and counted individually in the 1 m × 1 m subplot. Sampling (girth less than 4 cm and height over 1.30 m) also identified and counted in the 5m × 5m subplot. Tree density and forest production in volume were also calculated. Litter fall production were also carried out monthly at each site. The details of forestry study will not be discussed in this paper.

#### Biological productivity

Field studies were conducted during the dry season in May 2007 and wet season in October 2007. For quantitative sampling of phytoplankton, a depth integrated 10 – 20 liters of water sample was collected in duplication for each station. Sample was filtered onto a 20 µm meshed net. Aliquots were preserved in 2 percent neutral formalin for analyse diversity and abundance of microphytoplankton. Zooplankton samples were collected by plankton nets of 100 and 300 µm mesh size equipped with flow meter (General Oceanics medel 2030R) Duplicate horizontal tows from 1 m near bottom depth to surface were taken. Samples were preserved in 4 – 5 percent neutralized formalin solution for identification and enumeration.

As for the quantitative sampling of benthic communities, 3 replicate samples of macrofauna per station were collected using 0.5 m × 0.5 m quadrats and core sampler (diameter of 0.15 m and 0.5 m in length). Samples were sieved through percent neutralized formalin for identification to the lowest same quadrats as the macrofauna using a corer with 3 cm in diameter pushed to a depth of 10 cm in sediment. Core with Rose Bengal dye for identification and enumeration. The environmental parameter of porewater in the sediment were measured in situ namely temperature, salinity, pH and EC. Sediment

samples were also collected for soil texture analysis using a hydrometer method and for organic content by Walkley Black Wet Oxidation Technique.

Fish larvae and juveniles were collected by using a modified push net as the fry – sweeper comprised of V – shaped bamboo frame with Velon wing net and a pouch of fine mesh net. The net was operated during low tides by moving back and forth along the shoreline in waist – to – chest deep water during day time. Gill net with 3 mm mesh size was employed for fish larvae and juveniles collection. Samples of adult fish population were collected using local fisherman gill nets of approximately 1 cm mesh size. Sampling period was approximately 30 min. at each station. Samples were preserved in 10 percent neutralized formalin for identification and enumeration.

## Results and Discussion

#### Forest structure and productivity

Low species diversity were observed of only half of the previous recorded (Terathanathorn and Panichchart, 2002) of 30 species in 20 genera and 16 families of mangrove plants recorded in the area. The mangrove plantations of different ages dominated by *R. apiculata*, *R. mucronata* and *A. alba*. These were resulted from the mangrove restoration/reforestation efforts. As the mangrove plantations aged, the natural succession also taken place thus the forest conditions in some areas are similared to the natural forests.

Transect line at mangrove plantation of 40 yrs- Klong Bang Hua Koo extended 410 m. consisting of 10 species of mangrove. Dominant plants found in the area were *R. apiculata*, *A. alba*, *R. mucronata*, *Nypa fruticans*, *Lumnitzera racemosa*, *Sapium indicum*, *S. ovata*, *S. caseolaris*, *B. sexangula* and *Hibiscus bitaceous*. Tree density recorded was 2,612 trees/hectare with the tree height in the range of 3-21 m. When compared with the previous work by Terathanathorn *et al* (2007) *Xylocarpus moluccensis*, *Acrostichum aureum* and *Derris trifoliata* can not be found due to the inundation of the area.

The species composition in the mangrove plantation of 30 yrs- Klong Bang Luk similared to those reported by Terathanathorn *et al* (2007). The transect line of 340 m. was dominated by *R. apiculata*, *R. mucronata*, *B. sexangula*, *Nypa fruticans*, *X. moluccensis*, *X. granatum*, *S. caseolaris*, *A. alba*, *A. officinalis* and *Acanthus ilicifolius*. Tree density recorded was 4,468 trees/hectare with tree height in the range of 5-24 m.

The long transect of 500 m. was conducted at the mangrove plantation of 20 yrs- Klong Bang Gong Kong. Total of 11 mangrove species were recorded namely

**Table. 1** Forest structure and productivity in the mangrove plantations of different age in Pak Phanang Bay, Nakhon Si Thammarat, southern Thailand

Indicators	Mangrove Plantation of 40 yrs- Klong Bang Hua Koo	Mangrove Plantation of 30 yrs- Klong Bang Luk	Mangrove Plantation of 20 yrs- Klong Gong Kong
1. Forest structure			
1.1 Species diversity (no. of species)	10	10	11
1.2 Species zonation	zonation not apparent	zonation not apparent	zonation not apparent
1.3 Tree density (trees/hectare)	2,612	4,468	5,575
- Tree height (m)	3-21	5-24	4-25
1.4 Forest production in volume (cu.m./hectare)	110.37	265.44	223.75
1.5 Percent coverage (%)	80-90	80-90	80-90
2. Natural regeneration			
2.1 Samplings and seedling density (stems/hectare)	48,475	24,319	18,787
3. Litter fall production (kg/hectare/yr)			
	28,810	35,016	27,216

**Table. 2** Indicators used for the classification of mangrove forest condition based on the data from mangrove forest in Thailand

Indicators	Degraded	Developing	Healthy/Matured
1. Forest structure			
1.1 Species diversity (no. of species)	less than 5	5 - 20	more than 30
1.2 Species zonation	no zonation	zonation no apparent	clear zonation
1.3 Tree density (trees/hectare)	less than 125	125 - 625	more than 625
1.4 Forest production in volume	less than 31.25	31.25 - 125	more than 125
1.5 Percent coverage	less than 50%	50 - 80%	more than 80%
2. Natural regeneration			
2.1 Samplings and seedling density (stems/hectare)	625 - 18,750	more than 18,750	less than 18,750

*R. apiculata*, *R. mucronata*, *B. saxangula*, *B. cylindrical*, *N. fruticosus*, *Excoecaria agallocha*, *S. alba*, *A. alba*, *X. granatum*, *L. racemosa* and *Aegiceras corniculatum*. Tree density recorded in the area was 5,575 trees/hectare with the tree height of 4-25 m. Table 1 showed the forest structure and productivity of the three mangrove plantations.

When compared the forest structure and productivity in the mangrove plantations of the different age in the Pak Phanang estuary with the criteria for classification of mangrove forest condition based on the data from mangrove forest in Thailand as in table 2 (Paphavasit, *et al.*, 2008a), these mangrove plantations were productive

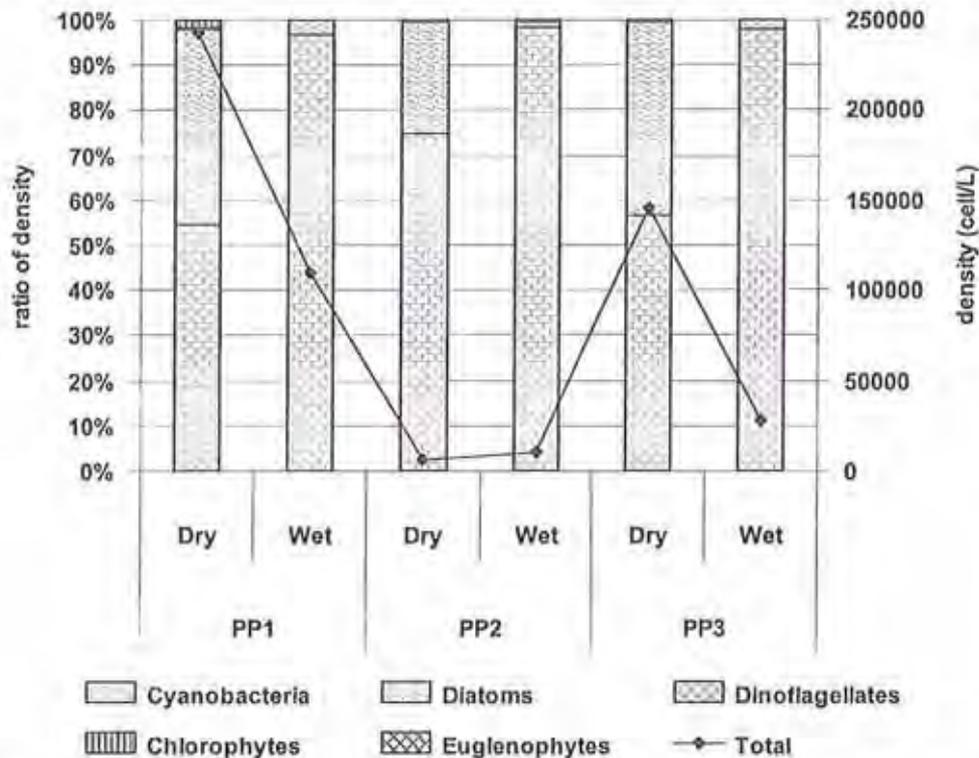


Figure. 2 Composition of microphytoplankton in the mangrove plantations of different age in the Pak Phanang estuary, Nakhon Si Thammarat, southern Thailand

and in the developing and matured conditions. Tree density recorded were higher than those recorded from the Inner Gulf of Thailand (Paphavasit, *et al.*, 2007). Forest production were in the range of productive forests. Natural regenerations, as revealed from numbers of seedling and saplings, are in excellent condition. The percent coverage were in the range of 80-90%. The litter fall production also indicated the productive forests.

### Biological productivity

Several studies of mangrove associated with fish communities in Pak Phanang Bay provided evidences that these mangrove forests were used by fish as nursery grounds, permanent habitats, breeding and feeding grounds (Sirimontarpon, 1998; Somkleeb *et al.*, 2001; Sri thakon *et al.*, 2003; Paphavasit *et al.*, 2004; Tongnunui *et al.*, 2007; Wongchinawit *et al.*). The mangrove forests provide a greater abundance of food. Food sources are the major factors inducing fish into mangrove forest. Plankton, mainly microphytoplankton and dominant zooplankton such as copepod, crustacean larvae and bivalve larvae are important food source. High diversity and abundance of phytoplankton indicating the productivity of the

system in supporting the higher trophic levels in the grazing food webs. High phytoplankton diversity observed in the mangrove plantations on the eastern coastline of Pak Phanang Bay were in the range of 21 - 67 genera. Phytoplankton density were in the range of  $6.66 \times 10^3$  -  $2.64 \times 10^5$  cells/litre in the dry season and  $9.93 \times 10^3$  -  $1.09 \times 10^5$  cells/litre in wet season. These phytoplankton density of  $10^3$  to  $10^5$  cells/litre are normally observed in the mangrove forests in the Inner Gulf of Thailand and Andaman coastline. Cyanobacteria diatom and dinoflagellates were the three dominant groups as in Figure 2. There was the shift from diatom dominated phytoplankton communities to cyanobacteria in the mangrove plantations (Piunsomboon *et al.*, 2004) indicating the organic enrichment in the area. The calculated primary production were in the range of 15.76 - 54.49 and 4.60 - 121.91 g C/m<sup>2</sup>/yr. in the dry and wet season respectively. High primary production recorded in the productive mangrove forests (Paphavasit *et al.*, 2002; Paphavasit *et al.*, 2007). However the values recorded are lower than previously recorded in the dry season of the year 2001 and 2002 in the range of 93 - 326 g C/m<sup>2</sup>/yr. by Piunsomboon *et al.* (2004).

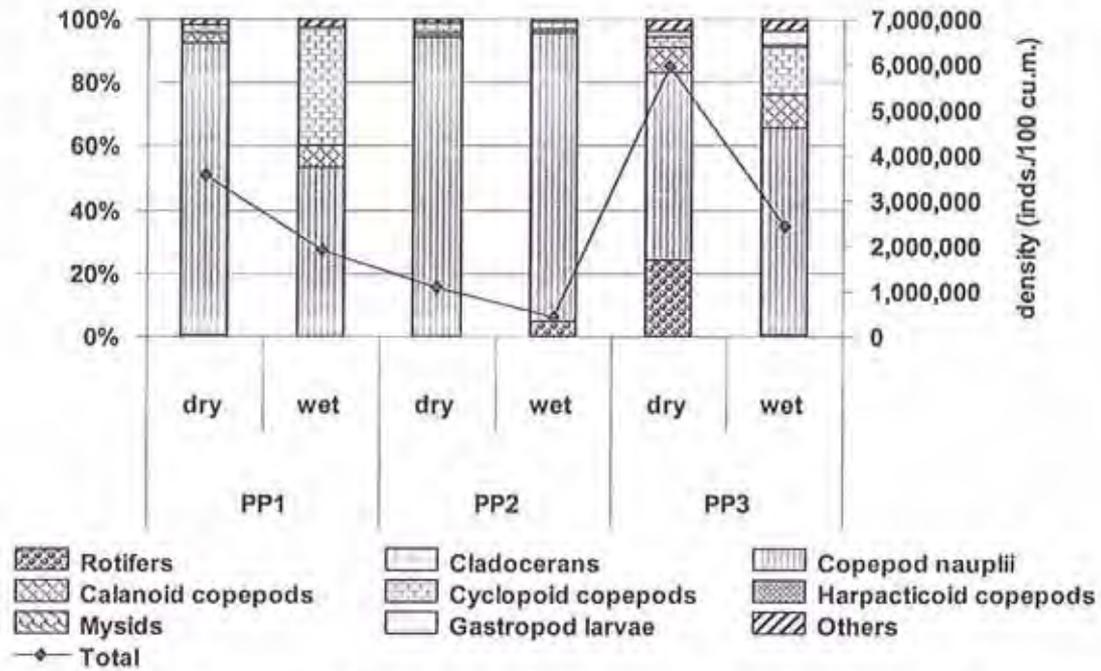


Figure. 3 Composition and total density of zooplankton in mangrove plantations of different age in the Pak Phanang estuary, Nakhon Si Thammarat, southern Thailand

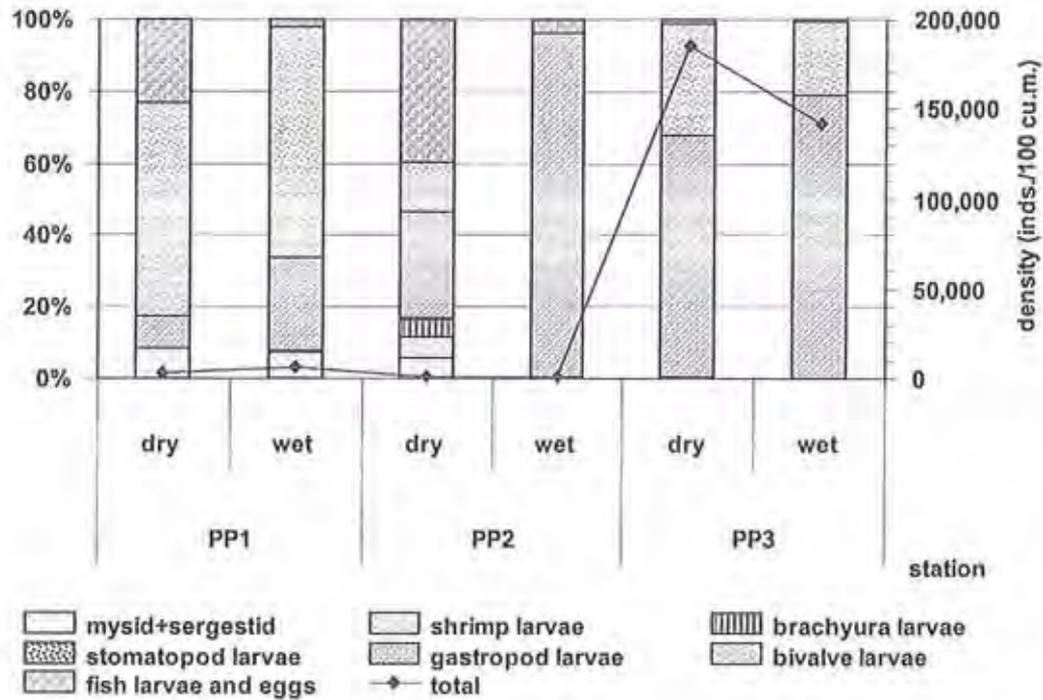


Figure. 4 Composition and total density of meroplankton with emphasis on economically important species in mangrove plantations of different age in the Pak Phanang estuary, Nakhon Si Thammarat, southern Thailand

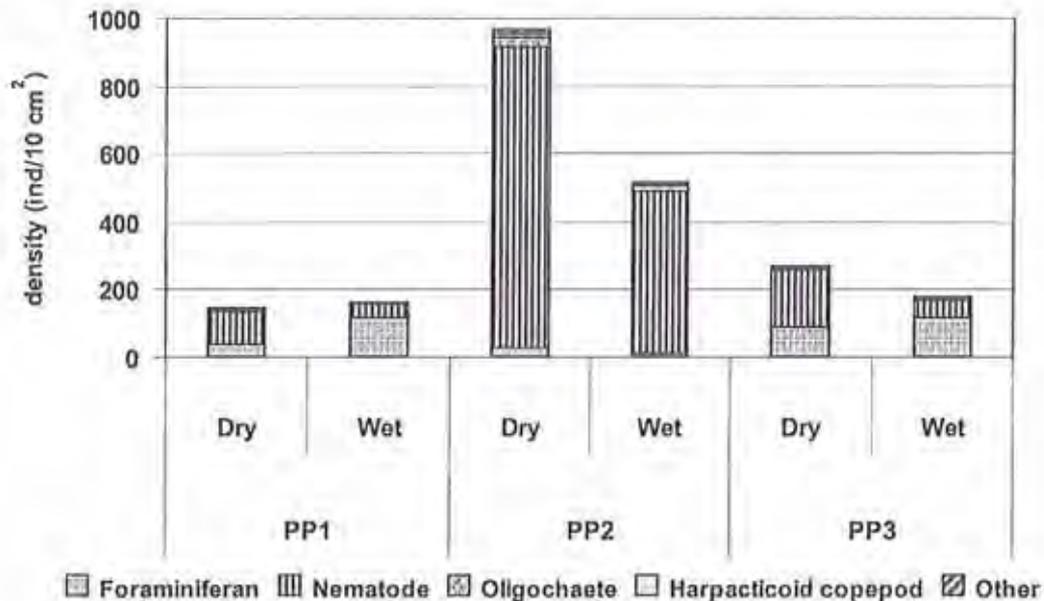


Figure. 5 Composition and total density of meiofauna in mangrove forest plantations of different age in the Pak Phanang estuary, Nakhon Si Thammarat, southern Thailand.

Zooplankton communities in the mangrove plantations in the Pak Phanang estuary as in Figure 3 were dominated by copepods, copepod nauplii, bivalve larvae and gastropod larvae similar to previous studies. Zooplankton density was in the range of  $10^3$  of  $10^7$  individuals/100 cu.m, which was in the same range as reported by Piumsomboon *et al* (2000) and Piumsomboon *et al* (2004). The density of zooplankton in the wet season was higher than the dry season. Cladocerans and rotifers were abundant in the low salinity period. The ratio of meroplankton in particular the economically important zooplankton as in Figure 4 indicated the important roles of mangrove forest as food sources and nursery for fisher resources such as mysids, sergestid, shrimps gastropod and bivalve larvae apart from fish larvae.

Benthic communities can be used as the indicators of environmental quality and fishery productivity. The meiofauna diversity in the dry and wet season of total 11 taxagroup dominated by nematode and foraminiferans. The high density was recorded in the dry season as in Figure 5. Nematode was the dominant group in the mangrove area as reported by Paphavasit *et al.* (2004) in the Pak Phanang mangrove forest and Chalermwudhisak (2002) in the Samut songkram mangrove forest in the Inner Gulf of Thailand. Nematodes can be widely distributed due to their high tolerance of environmental changes in particular in the hypoxia and anoxic condition.

They are mainly deposit feeders (Riemann, 1988) When compared the meiofauna density in the same area as reported by Paphavasit *et al* (2004), the density increased from 41-239 ind/10 cm<sup>2</sup> to 6-966 ind/10 cm<sup>2</sup> in the present study. The increase in organic detritus in term of forest biomass as the mangrove plantation aged provided the food sources for these meiofauna.

Mangrove benthos namely nematodes, gastropods, polychaetes, crustaceans and crabs are also major food sources for fishery resources. The total of 50 species of macrofauna were recorded in the mangrove plantations in the Pak Phanang estuary. The composition of macrobenthos in orders of dominance were polychaetes crustaceans and mollusks as in Figure 6 indicating species assemblages associated with a disturbed forest, as polychaetes were the dominant group (Paphavasit *et al.*, 2003) The ratio of these three major groups for the mangrove plantation of 40 yrs., mangrove plantation of 30 yrs. and mangrove plantation 20 yrs. were 37 : 26 : 19, 30 : 22 : 22 and 32 : 32 : 18 respectively. In the natural productive mangrove forest were high diversity of macrofauna were recorded, the ratio for polychaete, mollusks and crustaceans was usually 15 : 30 : 40. However the disturbed forest and abandoned shrimp farm the ratio for polychaetes increased.

The macrofaunal density in the dry season were higher than those in the wet season. The dominant

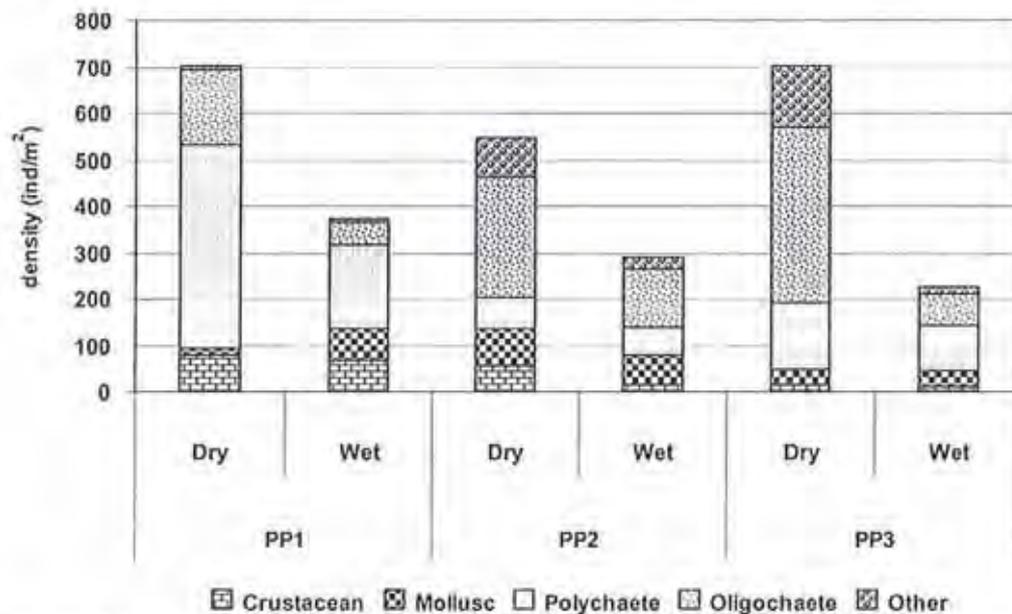


Figure. 6 Composition of dominant macrofaunal groups in mangrove plantations of different age in Pak Phanang estuary, Nakhon Si Thammarat, southern Thailand

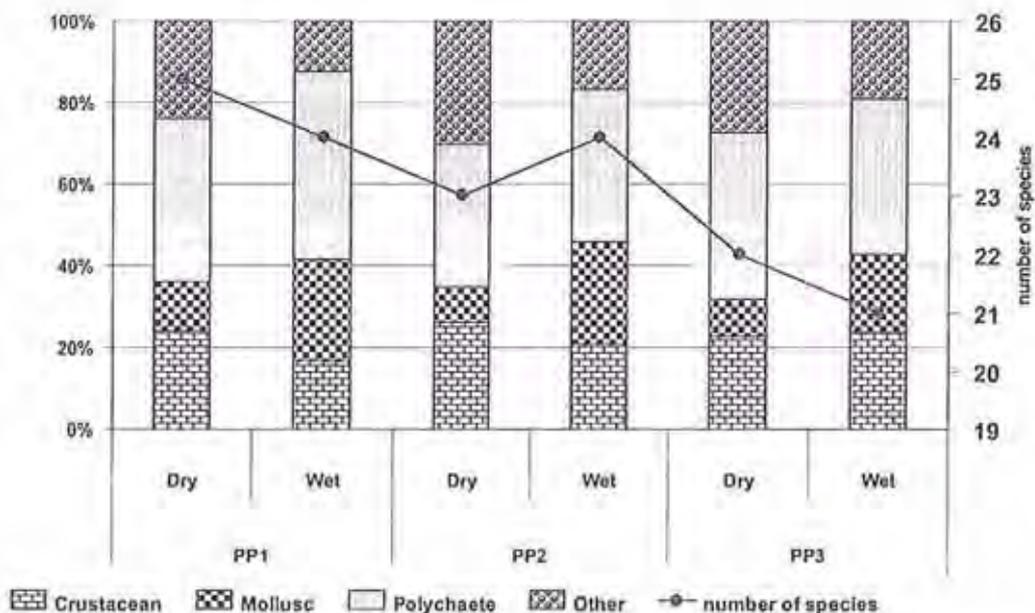


Figure. 7 Macrofaunal density in the mangrove plantations of different age in Pak Phanang estuary, Nakhon Si Thammarat, southern Thailand

macrofauna were oligochaete, polychaetes in the families Nereididae, Capitellidae, Spionidae and Sabellidae and red snail, *Assiminea brevicula* found in the eastern coastline mangrove forest as in figure 7

Although the three mangrove plantations were productive in term of forest productivity, the benthic

invertebrate communities should best represent food source and spawning ground for fishery resources, However in this study, we find that low benthic density as compared to those previously reported from other mangrove forest in the Gulf of Thailand (To-on, 1999 and Wichitworakhun, 2001). High polychaete density

**Table 3** Dominant macrofaunal communities in the mangrove plantations of different age in Pak Phanang estuary, Nakhon Si Thammarat, southern Thailand

Station	Dominant species	Habitat	Dominant Mangrove species
Mangrove plantation 40 years (PP1)	Oligochaete	Temperature: 25.9 – 28.8 ° C	<i>Rhizophora apiculata</i> .
	Polychaete: <i>Ceratonereis cf. burmensis</i> ,	Salinity: 7.2 – 11.3 psu	<i>Nypa fruticans</i> ,
	<i>Heteromastus sp.</i> , <i>Namalycastis cf. indica</i> ,	pH: 6.70 – 7.11	<i>Avicennia alba</i>
	<i>Prionospio (Minuspio) japonica</i> ,	Redox potential: -122 to -115 mv	
	Ampharetidae	Organic matter: 4.05 – 5.91%	
	Isopod: <i>Cyathura sp.</i>	Sediment type: loam (dry) clay	
	Gastropod: <i>Assiminea brevicula</i>	loam (wet)	
Mangrove plantation 30 years (PP2)	Oligochaete	Temperature: 25.8 – 28.5 ° C	<i>Rhizophora apiculata</i> ,
	Gastropod: <i>Assiminea brevicula</i>	Salinity: 6.3 – 7.3 psu	<i>Rhizophora mucronata</i>
	Insect larvae: Diptera	pH: 6.93 – 7.00	
	Polychaete: <i>Namalycastis cf. indica</i> ,	Redox potential: -108 to -81 mv	
	Sabellidae, <i>Heteromastus sp.</i>	Organic matter: 4.46 – 4.71%	
	Isopod: <i>Cyathura sp.</i>	Sediment type: sandy clay loam (dry) clay loam (wet)	
Mangrove plantation 20 years (PP3)	Oligochaete	Temperature: 25.7 – 26.5 ° C	<i>Rhizophora apiculata</i> ,
	Insect larvae: Diptera	Salinity: 6.3 – 12.8 psu	<i>Rhizophora mucronata</i>
	Polychaete: <i>Namalycastis cf. indica</i> ,	pH: 6.99 – 7.16	
	<i>Neomediomastus sp.</i> , <i>Neoheteromastus sp.</i> ,	Redox potential: -231 to -172 mv	
	<i>Prionospio (Minuspio) japonica</i>	Organic matter: 9.28 – 11.08%	
	Gastropod: <i>Assiminea brevicula</i>	Sediment type: sandy loam (dry) clay loam (wet)	

correlated to high organic content in the mangrove forest. Several macrobenthos found as in Table 3 were the indicators of eutrophic and hypoxia conditions. Polychaetes in the family Capitellidae, *Neomediomastus sp.*, *Neoheteromastus sp.* And *Prionospio (Minuspio) japonica* in the family Spionidae. Other indicator of organic enrichment were *Namalycastis cf. indica*, Nereid polychaete and polychaete in the family Ampharetidae.

Figure 8 showed the density of fish larvae in the mangrove plantations in the eastern coastline of Pak Phanang estuary. Mangrove forest support fisheries production by providing nursery grounds for larval and juvenile marine fish. Juvenile survival may be enhanced in shallow mangrove habitats where structural complexity, shading and turbidity are relatively high providing a predation refuge. Moreover the habitat complexity resulting from prop roots pneumatophores and mangrove debris as well as the soft mud substrate also provide protection from predators (Laegdsgaard and Johnson, 2001; Ellis and Bell, 2004). Fish larvae in the families Gobiidae and Phallostethidae dominated the area.

Fish larvae in the families Engraulidae, Leiongathidae, Ambassidae, Scatophatidae, Sciaenidae and Clupeidae were common. High diversity of fish larvae were recorded in the wet season.

Fish composition and diversity is often the good ecological indicator representing the universal and meaningful language to all stakeholders, scientists, coastal communities and policy administrators. The role of mangrove plantations in Pak Phanang estuary supported the availability of habitat and food sources. Total of 22 species from 14 families were recorded during the dry season with fishes in the family Gobiidae were the most diversified group in the western mangrove forest. Gobiid fishes, Mud sleeper, *Butis koilomatodon* and Burrowing goby, *Trypauchen vagina* were dominant in the wet season while Perchet, *Ambassis yachelti* and *Butis koilomatodon* common in the dry season. During the wet season, total of 23 species from 17 families were recorded. Tade mullet, *Chelon tade* and *Platycephalus indicus* also common during this season. Several economically important species were recorded from the area such as Scat, *Scatophagus*

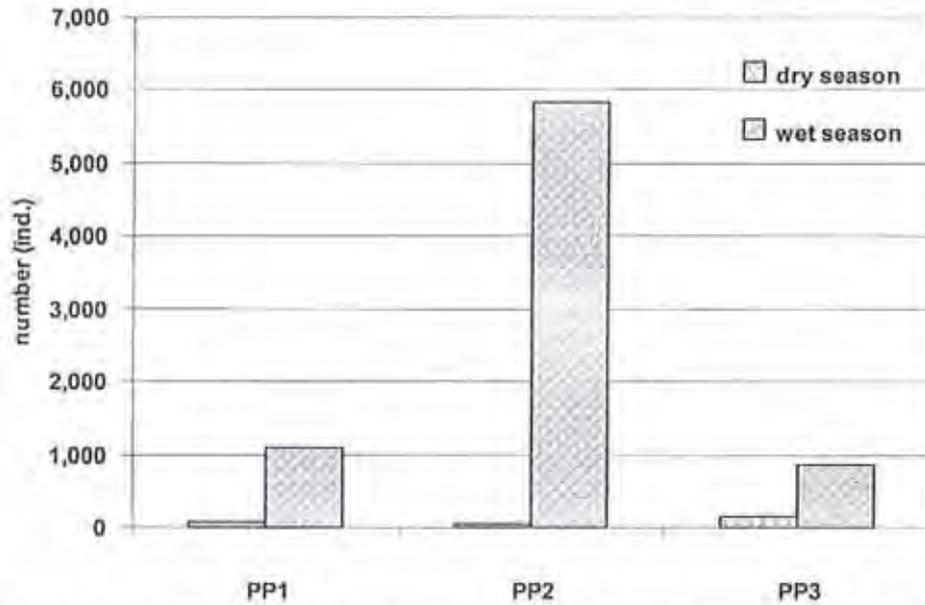


Figure. 8 Fish larval density in the mangrove plantations of different age in Pak Phanang estuary, Nakhon Si Thammarat, southern Thailand

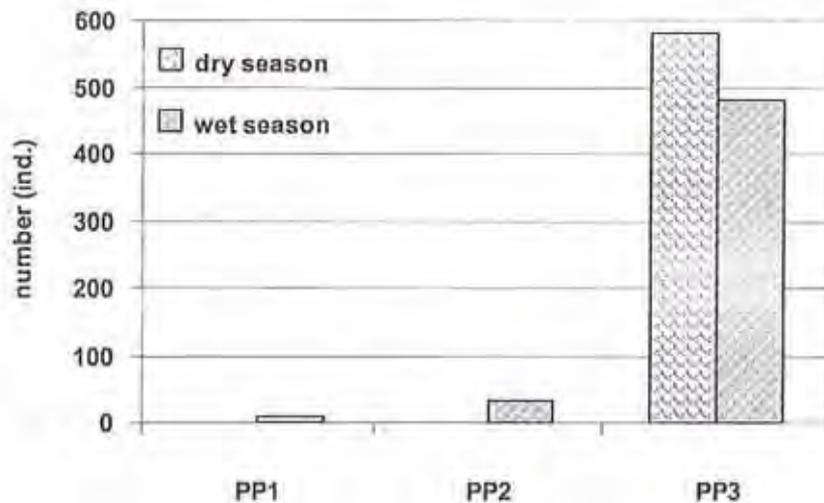


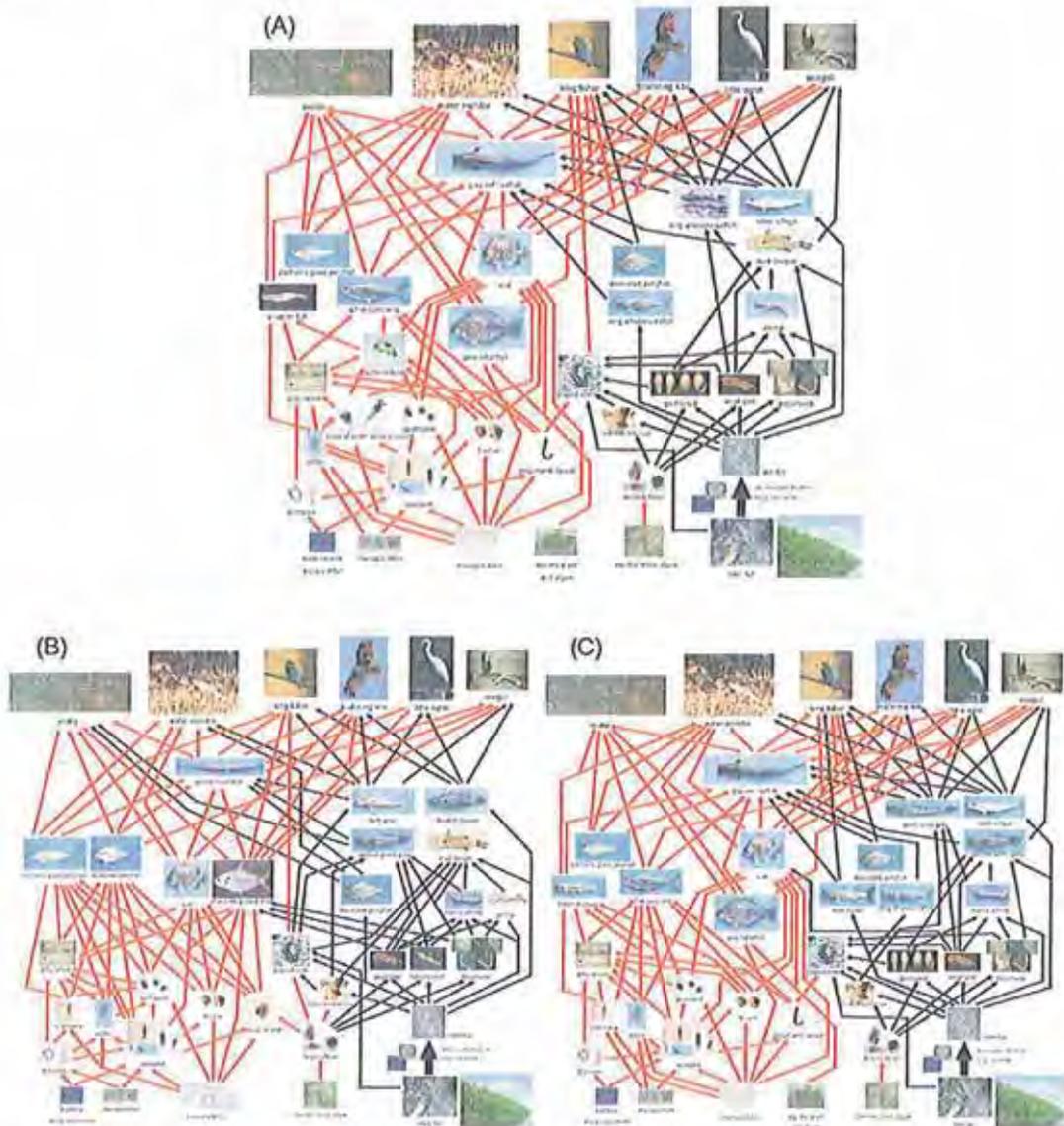
Figure. 9 Fish density in the mangrove plantations of different age in Pak Phanang estuary, Nakhon Si Thammarat, southern Thailand

*argus*, Java rabbitfish, *Siganus jarus*, Fourfinger threadfin, *Eleutheronema tetradactylum*, Burrowing goby *Trypauchen vagina*, Yellow spotted rabbit fish, *Siganus guttatus* and Tade mullet, *Chelon tade*.

Fish composition and diversity reflected the health of the mangrove forests (Shinnaka *et al.*, 2007; Tongnunui *et al.*, 2007 and Wongchinavit *et al.*, 2007). Several fish families, true residents in the mangrove forest, spent their complete life cycle by reproducing and feeding within mangrove habitats. Fish in the families Gobiidae,

Mugilidae, Syngnathidae, Ambassidae, Plotosidae, Ariidae and Scatophagidae can be used as the indicators. Shinnada *et al.* (2007) suggested that Scat, *Scatophagus argus*, Scalloped perchet, *Ambassis malua*, Mullet, *Chelon subviridis* and Spotted green puffer, *Tetradon nigroviridis* indicated mangrove recovery. The diversity of fish in the family Gobiidae decreased in the disturbed mangrove forest in comparison with natural healthy forest. (Ikejima *et al.*, 2006; Shinnaka *et al.*, 2007; Tongnunui *et al.* 2007).

Ecosystem integrity in this study, implies balanced,



**Figure. 10** Food web complexity in the mangrove plantations of different age in Pak Phanang estuary, Nakhon Si Thammarat, southern Thailand  
 (A) In 2002-2004 (B) Dry season in 2007 (C) Wet season in 2007

healthy and productive characteristics of the ecosystem. Based on the food web analysis in the mangrove plantations on the eastern coastline, the system is balanced due to the productivity and complexity in the food webs as compared to those in the past as in Figure 10. The detrital food webs in the mangrove forests showed high complexity. The food webs in both seasons were similar to those in the past. This was due to the composition of the benthos. Fish diversity mainly herbivores, zooplankton feeders and benthic feeders were lower in the dry season as compared to the previous

reports. Carnivorous fish species were also on declining trend. The forage carnivorous ratio in fish calculated to 15:1 was indicating the balanced condition.

### Conclusion

Ecological assessment on the success of mangrove restoration/reforestation in the mangrove plantations of different age in the Pak Phanang estuary, Nakhon Si Thammarat, southern Thailand revealed that mangrove restoration had restored the mangrove structure and function in enhancing coastal productivity and fisheries.

Assessment on ecosystem integrity showed that the system is balanced due to the productivity and complexity in the food webs. Due to reforestation and afforestation techniques in the mangrove plantations, the mangrove diversity decreased to only 2 – 3 selected species and others from the natural succession process. Forest productivity assessed from the mangrove plantations revealed that these mangrove forests were productive and in the developing and matured condition. Forest production were in the range of productive forests. Natural regenerations are in excellent conditions. High litter fall production served as the base in the complex detrital food webs in the forest. However several biological indicators demonstrated the deteriorating health in term of organic enrichment in the mangrove forest such as the increase of cyanobacteria. Several meiofauna and macrofauna were the indicators of eutrophic and hypoxia conditions such as nematodes, foraminiferans, polychaete in the families Nereidae, Spionidae, Capitellidae and Ampharetidae. Low diversity of benthos recorded in the mangrove plantations was due to hypoxia condition of the mangrove floors. Paphavasit *et al.* (2008a) observed low dissolved oxygen concentration or hypoxia condition in the mangrove forests. High organic contents were indicating the eutrophic condition found in the mangrove sediment. Although the mangrove reforestation has been carried out since 1982, the mangrove plantations were not maintained in the silviculture technique to promote production. Thinning and pruning have not carried out. Dense tree canopy in the mangrove plantations contributed to high organic detritus in term of forest biomass as the mangrove plantation aged. In the long term, even with high forest biomass as the mangrove plantations aged, but these hypoxia condition provide the unsuitable habitats for benthos and fish. The availability of habitats and food sources provided by these forests will soon be lost.

This study showed that the mangrove restoration/ reforestation programme has reestablished the ecosystem integrity. However re-introducing different mangrove species as the key to re-establishing the forest as viable ecosystem should be considered. Selection of suitable mangrove species and mangrove rehabilitation scheme should enhance the natural recovery process leading to ecosystem integrity. Several studies on the stability assessment of mangrove reforestation in Thailand demonstrated that the ecological recovery required longer period of time depending on the degree of disturbances in the sediment, availability of natural seedlings in the area and degree of human interference on natural plant succession ( Paphavasit *et al.*,2008b). Different

selected mangrove species required different time frame allowed for the mangrove stability to be reached such as *Avicennia*, *Sonneratia* and *Rhizophora*. The assessment on the multispecies/ mixed plantations on abandoned shrimp farms in Nakhon Si Thammarat showed similar results as the natural succession forest without human intervention reaching stability within 5 years.

## References

- Ellis, W.L. and Bell, S.S.,2004. Conditional use of mangrove habitats by fished: depth as a cue to avoid predators. *Estuaries* 27, 966-976.
- Hameedi, M.J. 2005. Environmental indicators as performance measures for improving estuarine environmental quality, In: Bortone, S.A. (Ed.) (2005), *Estuarine Indicators CRC Marine Science Series*, 451-465.
- Ikejima, K., J. D. Rongnillo, V. L. Corre and V. A. Dureza. 2006. Fish assemblages in abandoned ponds and waterways surrounding brackish water aquaculture ponds, Panay Island, the Philippines. *Asian Fisheries Science* 19, 293-307.
- Jordan, S.J. and L. M. Smith. 2005. Indicators of ecosystem integrity for estuaries. In: Bortone, S.A. (Ed.) (2005). *Estuarine Indicators CRC Marine Science Series*, 467-480.
- Laegdsgaard, P. and C. R. Johnson. 2001. Why do juvenile fish utilize mangrove habitats?. *Journal of experimental Marine Biology and Ecology* 257, 229-253.
- Paphavasit, N., P. Tongnumui and C. Sudtongkong, 2002. Coastal fishery rehabilitation in mangrove plantations on abandoned shrimp farm at Pak Nakhon, Nakhon Si Thammarat pp.III –12: 1-13. In: *Proceeding of The Twelfth National Seminar on Mangrove Ecology*, National Research Council of Thailand, 28-30 August 2002, Nakhon Si Thammarat Province (in Thai).
- Piumsomboon, A., N. Paphavasit, N. Soonsawad, N., B. Sik hantakasamit and I. Sivaipram, 2002. Plankton communities in Pak Poon Estuary, Nakhon Si Thammarat, Southern Thailand In *Annual Report 1999 ( Second Year: May 1999- March 2000) on Green Carpet Project in Nakhon Si Thammarat, Thailand* KEIDANREN Nature Conservation Fund and Japan Fund for Environment Conservation.
- Paphavasit, N. et al. (2002) *Ecological Assessment of Mangrove Reforestation/afforestation in Samut Songkram Province on Zooplankton and Benthic Communities*. National Research Council of Thailand (in Thai). 214pp.
- Paphavasit, N., A. Termvidchakorn, A. Piumsomboon,

- I. Sivaipram, N. Somkleeb, P. Tongnunui and P. pannarak, 2004. Fish communities in mangrove Plantations in Pak Phanang Bay, Nakhon si Thammarat Province In Aksornkoae, S.*et al.* (editors) Integrated Management of mangrove Plantations for Development of Coastal Resources and Environment of Thailand (in Thai), 346-352.
- Paphavasit, N., P. Tongnunui, C. Sudtongkong, A. Piumsomboon, J. Jivaluk, K. Patisayna, and V. Teeratanatorn. 2004. Effect of multispecies mangrove plantations on abandoned shrimp farms on coastal fishery at Pak Nakhon, Nakhon Si Thammarat Province. In: Aksornkoae, S. *et al.* (editors). Integrated Management of Mangrove Plantations for Development of Coastal Resources and Environment of Thailand (in Thai), 353-369.
- Paphavasit N. and Co-workers. 2007. status and Management Guideline on Coastal Resources in the Inner Gulf of Thailand. Department of marine and Coastal Resources Ministry of Natral Resources and Environment and Chulalongkorn University (in Thai), 578pp.
- Paphavasit N. and Co-workers. 2008a. Assessment on Ecosystem Integrity in Pak Phanang Estuary, Nakhon Si Thammarat Province Department of marine and Coastal Resources, Ministry of Natral Resources and Environment and Chulalongkorn University (in Thai). 601pp.
- Paphavasit N., A. Piumsomboon, I.Sivaipram, S. Siriboon and S. Aksornkoae. 2008b. Guidelines on the Assessment of Mangrove Restoration Efforts as Mitrigation to National Hazards: Thailand's experiences ITTO/ISME/TEL/DMCR Workshop : Restoration of mangrove and other coastal forests damaged by tsunamis and other hazards in the Asia-Pacific region, 21-25 August 2008. Bangkok, Thailand.
- Piumsomboon, A., W.Tarangkoon, P.Sao-sii, B. Sikhanthakasamit, P. Pannarak, N. Paphavasit and I. Sivaipram, 2004. Diversity and Plankton production in mangrove plantation and Pak Phanang Estuary, Nakhon Si Thammarat Province In Aksornkoae, S. *et.al.* (editors) Integrated Management of mangrove Plantations for Development of Coastal Resources and Environment of Thailand (in Thai), 289-331
- Shinnaka, T., M. Sano, K. Ikejima, P. Tongnunui, M. Horinouchi and H. Kurokura. 2007. Effects of mangrove deforestation on fish assemblage at Pak Phanang Bay, southern Thailand. Fisheries Science. 73, 862-870.
- Sirimontaporn, P. 1998. Fisheries and ecological survey in Pak Phanang Basin: aquatic fauna in Leadwater stream and mangrove area. Technical paper No.7, National Institue of Coastal Aquaculture, Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperation (in Thai).
- Sritakon, T., C. Ratanachai and A. Assava-Aree. 2003. Species, diversity and fishery production in Pak Phanang River in 2002. Technical paper No1. National Institue of Coastal Aquaculture, Department of Fisheries, Ministry of Agriculture and Cooperation (in Thai).
- Terathanatorn, V. and S. Panichchart. 2002. Mangrove communities in the Pak Phanang Bay In: Population and Coastal Resources (Compliation of Research Papers) College of Population studies, Chulalongkorn University. Technical Publication No. 287. (in Thai), 241-256.
- Terathanatorn, V., P. Saleekul and S. Tumrareong. 2007. Change in forest ecosystem in Pak Phanang River Basin, Nakhon Si Thammarat Province In: Proceedings of the National Seminar on Mangrove Ecosystem: Mangrove as the Coastal Welfare Center 12-14 September, 2007 Phetchaburi Province, Thailand. (in Thai), 142-150.
- Tongnunui, P., N. Paphavasit, T. Shinnaka and K. Ikejima. 2007. Recovery of fish assemblage and mangrove rehabilitation : Case study of Pak Phanang Bay, Nakhon Si Thammarat Province. In: Proceedings of the National Seminar on Mangrove Ecosystem : Mangroves as the Coastal Welfare Center, 12-14 September 2007, Phetchaburi rovince, Thailand (in Thai), 332-340.
- Toth, L. A. 2005. A Process for selecting indicators for estuarine projects with broad ecological goals. in: Bortone, S. A. (Ed.) (2005). Estuarine Indicators CRC Marine Science Series, 437-449.
- Wichiarakhun, W., N. Paphavasit and A. Piumsomboon, 2003. Stability assessment of mangrove plantation of different ages In: Proceeding of the Twelfth National Seminar on Mangrove Ecology National Research Council of Thailand, 28-30 August 2002, Nakhon Si Thammarat Province (in Thai), III -2 : 1-9
- Wongchinyit, S., N. Paphavasit, I. Sivaipram, and C. Songroop. 2007. Assessment on the roles of mangrove reforestation on fis communities in Pak Phanang Estuary, Nakhon Si Thammarat Province. In: Proceedings of the National Seminar on Mangrove Ecosystem : Mangroves as the Coastal Welfare Center, 12-14 September 2007, Phetchaburi rovince, Thailand (in Thai), 341-355.



## Assessment of Community Capacity to Sustain the On-going Mangrove Rehabilitation Programme in Park Phanang Bay, Nakhon Si Thammarat Province, Southern Thailand

Siriwan Siribon<sup>1)</sup>, Nittharatana Paphavasit<sup>2)</sup>, Busarin Bangkaew<sup>1)</sup> and Chanettee Milintangul<sup>1)</sup>

**Abstract:** Pak Phanang estuary in Nakhon Si Thammarat Province, located in the southeastern coast in the Gulf of Thailand, was once the productive area in term of agriculture and fishery. This study aimed to understand the complex ecological-social-economic linkage which was necessary to determine suitable approach for mangrove rehabilitation programme. It was found that coastal and mangrove resources utilizations have direct impacts on the environmental quality, estuarine productivity and quality of life of local people. There were evidences of declining fishery production, degrading water and sediment quality as well as increasing labour migration in the area. In order to battle the declining coastal and mangrove resources, more than 80% of the local communities expressed the urgent need to conserve and rehabilitate the coastal and mangrove resources in Pak Phanang estuary. The findings from the study lead to the critical review on factors determining suitable development of coastal and mangrove resources. Evidently, it was suggested that "Adaptive Management" should be adopted to sustain the on-going mangrove rehabilitation programme. The adaptive approach involves exploring alternative way to meet management objectives, predicting the outcomes of alternatives based on the current state of knowledge, implementing one or more of these alternatives, monitoring to learn about the impacts of management actions. Adaptive management focuses on learning and adapting through partnerships of all stakeholders. In order to conserve and maintain long-term sustainable yields from valuable coastal and mangrove resources, full cooperation among tripartite namely; the governmental sectors (both national and local levels), the non-governmental sectors and public participation are ultimately required. Most importantly, the local leaders and administrators should play the active roles as the facilitators/coordinators of the management plan. Networking within and outside associated organizations are necessary. In order to achieve the application of adaptive management, the six REs namely REvalue, REstrategy, REprocess, REstructure, REcondition and REsearch were proposed as underlying factors determining sustainable development of mangrove resources.

**Keywords:** Community capacity, Public participation, Adaptive management on mangrove rehabilitation

### 1. Introduction

Pak Phanang estuary in Nakhon Si Thammarat Province, located in the southeastern coast in the Gulf of Thailand, was once the major fishing ground due to the rich pristine mangrove forests lined the estuary. There were evidences of declining fishery production, degrading water and sediment quality in the area. While most communities needed to pursue livelihoods and regain a minimum quality of life, attention should be focused on the rehabilitation of coastal resources and mangroves on sustaining basis. Several restoration and resource development programmes have been carried out in the province. However, the lack of collaborations among several sectors involved has resulted in conflicting management priorities. Many research works have shown that the success of many development programmes depend

upon public participation and awareness. (Suwannodom et.al, 1998; Siribon, 2000). It was suggested that adaptive management approach should be implemented. In order to provide the useful information for the planner and concerned staff in the improvement and assessment of the programme most suitable to capacity building in public participation to sustain the on-going mangrove rehabilitation programme in Pak Phanang estuary, our research aimed to elucidate;

1. The demographic, socio-economic and ecological conditions of the coastal communities
2. The community perception and awareness on the importance and benefits of mangrove and rehabilitation programme in Pak Phanang estuary based on the complex ecological-social-economic linkages
3. The underlying factors determining the community

<sup>1)</sup> College of Population Studies, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

<sup>2)</sup> Department of Marine Science, Faculty of Science, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand

participation in the mangrove rehabilitation programme and management

## 2. Research Methodology

Both the qualitative and quantitative methods for data collection were utilized to understand the complex ecological-social-economic linkage and to assess the information on community capacity to sustain the on-going mangrove rehabilitation programme in Pak Phanang estuary.

*1. Quantitative Approach:* The sampling survey was conducted by the College of Population Studies, Chulalongkorn University. Three questionnaires were administered in this survey, namely the community record, household schedule and the individual questionnaire for the head of household or his/her spouse.

*1.1 Community record:* The community questionnaires were mailed to community leaders of 27 communities in Pak Phanang district to collect the base line information of the communities on the demographic and socio-economic status of people in the study areas. In addition, the level of community participation on the coastal resources restoration and management was also detected from the questionnaire. The 17 questionnaires out of 27 were sent back with the response rates of 63 percent.

*1.2 Household schedule:* In this study, the sample unit was the households in the community. The sample for this study was 6 communities with 329 households. The structured interview with questionnaire provided quantitative information of the household members on demographic and socio-economic status of household members which allow detailed information on age and sex structure of the population, household size, educational level and occupational pattern.

*1.3 Individual questionnaire:* The head of household or his/her spouse from household sample was interviewed. The structured interview with questionnaire provided quantitative information on the perception of community members on coastal and mangrove resources conditions, the impact of degradation of coastal resources, mangroves and environment on the well-being and quality of life of community members, the level and trend of community participation on the mangrove rehabilitation programme as well as the level of community awareness on the benefit and value of coastal and mangrove resources.

*2. Qualitative Approach:* Two methods of data collection, namely in-depth interview and focus group discussion, were applied. There were 22 key informants from 5 groups, namely governmental group, non-governmental group, local administrators group, local community

leaders group and community members group. The qualitative data obtained from the two methods were another alternative method to add up some more detailed information on the process of constructing public participation and awareness on mangrove rehabilitation activities. Moreover, the information on the beliefs, values, attitude and opinion of people together with the information on social control, social organization, socialization process as well as social network towards the community participation and awareness on the activities related to mangrove rehabilitation programme were defined. The SWOT analysis provided necessary information to assess the underlying factors namely Strength, Weakness, Opportunity and Threat of community participation on the mangrove rehabilitation programme.

## 3. Demographic, socio-economic and ecological conditions of the Pak Phanang estuary

The information on demographic socio-economic and ecological conditions derived from community record revealed that the population were mostly fishermen, lead a simple lifestyle following the self-sufficiency philosophy. Therefore, the degrees of dependency on coastal resources and coastal environment were very high among the villagers. They were small-scaled fishery of estimated 6,000 baht per month for income. Approximately 60% of the fishery households were with debts related to money loans for occupational purposes. At present, the male and female ratio is in balanced with the average of 5 people in each household. Only 60% of the total population finished the primary education level. More than one-third is in the educational system (Paphavasit *et al.*, 2008).

From individual questionnaire, the perception of the coastal communities on the changes in coastal resources and environmental condition in Pak Phanang estuary was elucidated in the last 15 years of the 3 major periods; before the construction of the Uthokvibhajaprasid Dam (before 1988), during the dam construction (year 1999-2000) and after the dam operation (from year 2003 onwards) as in Table 1. The fishery production showed the steadily declining trend since 2000. This also coupled with the deteriorating water and sediment quality in the Pak Phanang estuary. Water resource allocation and irrigation played the major role in declining fishery resource and environmental condition.

The degradation of coastal resources and coastal environment were one of the major threats to community well-beings and quality of life through their occupations and economic stabilization. It was evident that the

**Table. 1** Perception of the Pak Phanang coastal villagers on changes in coastal resources and environment quality during the major periods relating to the Uthokvibhajaprasid Dam construction and operation

No	Before the construction of the dam (before 1988)			During the dam construction (Year 1999-2002)			After the dam operation (Year 2003 on wards)		
1.	<b>Fishery production</b>	<b>percent</b>	<b>number</b>	<b>Fishery production</b>	<b>percent</b>	<b>number</b>	<b>Fishery production</b>	<b>percent</b>	<b>number</b>
	Highly abundance	90.9	299	Increasing trend	0.6	2	Increasing trend	2.7	9
	Abundance	7	23	Declining trend	63.8	208	Declining trend	88.4	291
	Less abundance	2.1	7	Not change	36.2	119	Not change	8.8	29
	<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>329</b>	<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>329</b>	<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>329</b>
2.	<b>Fish species</b>	<b>percent</b>	<b>number</b>	<b>Fish species</b>	<b>percent</b>	<b>number</b>	<b>Fish species</b>	<b>percent</b>	<b>number</b>
	Rich and highly diverse	89.7	295	Increasing trend	1.2	4	Increasing trend	1.5	5
	Diversed	8.8	29	Declining trend	46.5	153	Declining trend	71.4	235
	Few/not diverse	1.5	5	Not change	52.3	172	Not change	27.0	89
	<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>329</b>	<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>329</b>	<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>329</b>
3.	<b>Fish size</b>	<b>percent</b>	<b>number</b>	<b>Fish size</b>	<b>percent</b>	<b>number</b>	<b>Fish size</b>	<b>percent</b>	<b>number</b>
	Large	78.7	259	Increasing trend	0.9	3	Increasing trend	0.9	3
	Medium	18.2	60	Declining trend	49.8	164	Declining trend	57.5	222
	Small	3	10	Not change	49.2	162	Not change	31.6	104
	<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>329</b>	<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>329</b>	<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>329</b>
4.	<b>Water quality</b>	<b>percent</b>	<b>number</b>	<b>Water quality</b>	<b>percent</b>	<b>number</b>	<b>Water quality</b>	<b>percent</b>	<b>number</b>
	Good quality	90.9	299	Improvement	2.4	8	Improvement	0.9	3
	Moderate	3.0	10	Degradation	55.0	181	Degradation	88.1	290
	Poor quality (Color)	5.8	19	Not change	42.5	140	Not change	10.9	36
	Poor quality (smell)	0.3	1	<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>329</b>	<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>329</b>
	(Both color and smell)			<b>Type of change</b>	<b>percent</b>	<b>number</b>	<b>Type of change</b>	<b>percent</b>	<b>number</b>
	<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>329</b>	Color	1.1	2	Color	1	3
				Smell	17.5	33	Smell	10.6	31
				Both Color and smell	81.5	154	Both color and smell	88.4	259
				<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>189</b>	<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>293</b>
5.	<b>Soil quality</b>	<b>percent</b>	<b>number</b>	<b>Soil quality</b>	<b>percent</b>	<b>number</b>	<b>Soil quality</b>	<b>percent</b>	<b>number</b>
	Good quality	86.6	285	Improvement	1.8	6	Improvement	1.5	5
	Moderate	8.5	28	Degradation	43.2	142	Degradation	69.0	227
	Poor quality (Color)	2.7	9	Not change	55.0	181	Not change	29.5	97
	Poor quality (smell)	0.6	2	<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>329</b>	<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>329</b>
	Poor quality (both color and smell)	1.5	5	<b>Type of change</b>	<b>percent</b>	<b>number</b>	<b>Type of change</b>	<b>percent</b>	<b>number</b>
	<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>329</b>	Color	1.3	2	Color	3.0	7
				Smell	6.7	10	Smell	3.4	8
				Both Color and smell	92.0	138	Both color and smell	93.5	217
				<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>150</b>	<b>Total</b>	<b>100.0</b>	<b>232</b>

**Table .2** Number of migrants and reasons for migration classified by sub-districts and villages

	Sub-district	Village	In Migrants (cases)	Out Migrants (cases)	Reasons for moving in			Reasons for moving out		
					Work/economic reasons	Follow family members	Buy land & house	No job/eco reasons	No land	Others
01	Klong Noi	Ban Peanoeri	10	0	✓	✓				
02		Ban Bangluk	21	28		✓		✓	✓	✓
03	East Pak Phanang	Ban Chaitalay	0	0						
04		Ban Noen	20	0	✓	✓		✓		✓
05		Ban Gongkoend	1	2		✓		✓		
06		Ban Nuennamhak	0	4		✓		✓		✓
07		Ban Kohchai	10	1	✓			✓	✓	✓
08	Laem Taloompuk	Ban Plaisai	0	30				✓	✓	
09		Ban laem	4	2	✓					✓
10		Ban Laentaloompuk	n.d	n.d						
11	Bangphra	Ban Bangvour	n.d	n.d			✓	✓		
12		Ban Bangkrud	31	16			✓	✓	✓	
13		Ban Khanted	10	10	✓			✓	✓	
14	Taphya	Ban Takhem	0	6				✓		
15	Kantabnak	Ban Sasrimuang	3	6		✓		✓	✓	
16		Ban Nagrod	n.d	n.d		✓		✓	✓	✓
17	Hoolong	Ban Khlongsukhum	n.d	n.d		✓	✓	✓	✓	

proportion of fishermen was declining through time. The pattern of occupational changes in the Pak Phanang coastal communities during the year 1997 to 2007 reflected the high proportion of fisherman changed their job to employee and labor since being employee or labor does not need high skill. The main reasons for changing jobs in fishermen were due to the decline in fishery production. The information on migration obtained from community record as shown in Table 2 and additional information from the in-depth interview indicated that the degradation on quality of coastal resources and environment such as polluted water, poor quality sediment and low fishery product acted as push factors for migration. The reasons for moving out of community were due to unemployment and searching for job outside community. These lead to the vital impact on the population structure and social ties of the community.

*Pradit: The most important factor is the quality of water. The polluted water resulted in the declining of fishery production. We could not get profit from fishing. We could not fish near-shore. It means that we have to spend more. When fishermen could not go fishing, they have to change their job. They have to move outside the village. In some places, there hardly on one left in the village. Villagers had to move far away from home. They will be back only during the holiday such as New Year celebration, Songkhran festival and traditional ceremony in the tenth month.*

#### 4. Public Participation in the Integrated Coastal Resources and Mangrove Rehabilitation

In order to battle the declining coastal resources, more than 80% of the local communities expressed the urgent need to conserve and rehabilitate the coastal resources in Pak Phanang estuary. The information from community record indicated that the local communities already on voluntary basis have shown good sign in cooperation in the conservation and rehabilitation activities. They have learned from their direct experience that mangrove ecosystems

**Table. 3** Perception of the Pak Phanang coastal villagers on changes in mangroves conditions during the major periods relating to the Uthokvibhajaprasid Dam construction operation

No.	Before the construction of the dam (before 1988)			During the dam construction (Year 1999-2002)			After the dam operation (Year 2003 on wards)		
	Amount of Mangroves	percent	number	Amount of Mangrove	percent	number	Amount of Mangroves	percent	number
1.	Large	71.7	230	Increasing trend	12.2	40	Increasing trend	22.2	73
	Moderate	22.8	75	Declining trend	18.5	61	Declining trend	32.8	108
	Small	5.5	18	Not change	69.3	228	Not change	45.0	148
	Total	100.0	329	Total	100.0	329	Total	100.0	329
2.	Mangrove Abundance	percent	number	Mangrove Abundance	percent	number	Mangrove Abundance	percent	number
	Highly abundance	76.9	253	Increasing trend	9.1	30	Increasing trend	11.9	39
	Abundance	17.6	58	Declining trend	24.3	80	Declining trend	42.2	139
	Less Abundance	5.5	18	Not change	66.6	219	Not change	45.9	151
	Total	100.0	329	Total	100.0	329	Total	100.0	329

have provided a variety of goods and services to coastal communities and the larger society. Mangroves form a protective buffer, stabilize sediments, reduce shoreline and riverbank erosion, regulate flooding and recycle nutrients. In the local communities point of view the benefits of mangrove forests were listed as animal breeding ground, fishery resources for food, coastal barriers for protecting wind and wave stress, source of income, protecting coastal erosion and the maintenance of the good environment quality. It was suggested that the rehabilitation of mangrove forests will have benefits not only on future safety of coastal communities, but also will contribute to their long-term socio-economic development by enhancing livelihood opportunities and provision of needed resources. Therefore, it was found from Table 3 that the amount of mangrove forest and the mangrove abundance in Pak Phanang estuary were increasing during the last decade.

The data collected from qualitative research revealed that the reforestation activity held only once a year and types of activity arranged were in occasional basis such as reforestation programme in commemoration of the Royal family, the exhibition during the visit of high level officers etc. Even though the activities was conducted for almost a decade and combined other activities such as disposal of young fishes and crabs through mangrove ecosystem, the arrangement was not under sustaining basis. The participation limited only among a group of fishermen who had direct benefit from mangroves. The programme

on mangrove rehabilitation was still not sustained.

*Assanee: The activities arranged by local administration organizations were arranged in occasional basis. It's not sustained. They could do better than this if they received financial support from the government continuously.*

### 5. Application of Adaptive Management to Sustain On-going Mangrove Rehabilitation Programme

It is clear in this study that the level of participation in any mangrove rehabilitation activity was highly correlated with the degree of mangrove-dependency. Villagers whose economic well-being was not depend on the existence or the pristine of mangrove pay less attention on any programme related to mangrove rehabilitation. Even though there was an attempt to promote mangrove rehabilitation programme in the community, the activities were arranged in occasional not sustaining basis. Villagers joined the programme in the form of cooperation not participation. Therefore, it was suggested that a so called "Adaptive Management" should be adopted to sustain the on-going mangrove rehabilitation programme. Adaptive management focuses on learning and adapting through partnerships of all stakeholders who learn together how to create and maintain sustainable mangrove resources system. Community members together with governmental

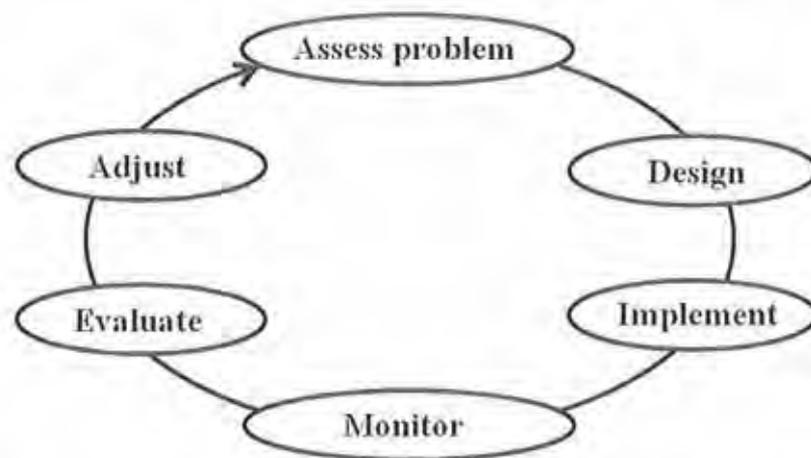


Figure. 1 Diagram of the Adaptive Management Process

organizations, non-governmental organizations, and relevant organizations should be involved in the whole process starting from assessing or formulating the problems together, thinking or designing the ways to solve the problem together, working or implementing together, analyzing together, monitoring together, evaluating together and planning together as shown in Figure 1. Any activity arranged, therefore, will be no longer in the form of occasional participating, superficial or window dressing in nature.

The information derived from qualitative research through in-depth interview from all stakeholders revealed that each step of adaptive management can be achieved through the following underlying factors as follow.

1. *Assess problem* Problems on mangrove and coastal environmental degradation should be formulated by all stakeholders. It was seen that the current direction of community and national development focused on the material and monetary profit which resulted in natural exploitation. It is recommended to have a revalue on the concept of materialization to self-sufficiency. The concept of self-reliance concentrated on the principles of producing enough to live on while preserving the integrity of the environment which is the most essential for sustainable development (Milintangul, 2007, Bangkaew and Siriboon, 2007). The villagers voiced out that the new generation is the important future human resources to play a major role on mangrove conservation. The socializing process for constructing consciousness should be held in the community. The school curriculum should

be revised urgently since it could not provide appropriate knowledge to solve local problems and management. The present curriculum was set as a standard for all as national policy. The local curriculum was in need to cope with the real local situation.

*Suntad:* We need to teach and make our young people well aware of the importance of coastal resources because they are like new seeds. If they grow up and have a positive value on the coastal resources and environment, they will have a sense of belonging and would continue their activities on the conservation of the resources and environment. Teaching young generation is easier than teaching the old. If the young accept the idea, they will work on it.

*Sommai:* We need local curriculum not standard curriculum for our young generation. Students needed to know about the conditions of natural resources and coastal environment of the area where they grew up. Household, schools, temples and mosques should work hand in hand to solve problems of coastal resources and environment.

*Assanee:* We lack of knowledge on coping the problems of coastal resources and environment. Our education failed to provide knowledge for local people in order to understand the real situation on natural resources and environment in their communities. Students here studied the same subject as student in Bangkok. We should arrange local curriculum that can answer the problem of local communities.

2. *Design* There is the need for the design of coastal resources and mangrove rehabilitation scheme which is site-specific to suit the objectives of the coastal communities. With different goals and objectives for mangrove restoration, the same basic blue print cannot be drawn as had been done before. Local communities should have the right to use and manage the resources under their community regime. The community rights, however, can be attenuated by the governmental organizations, such as the Ministry of Natural Resource and Environment or governmental agencies in provincial level, which should retain the rights to monitor and sanction in order to protect the misuse of the coastal resources. Even though, many times the community was not allowed by law to punish people who encroached upon the coastal resources. The social control through community mandate and social sanction should be encouraged to preserve and maintain the community resources and environment. In addition, the law enforcement should be practice strictly and continuously.

*Pradit: Solving the degradation of coastal resources and mangroves should be based on the problems of each community. Local officers do not need to please their boss by following all the action plans conducted by central office. Each community has its own problem that cannot be solved by the same mandate or rule.*

*Sommai: Don't forget that punishment is also an effective tool to control people. We cannot be optimistic that most people will follow rules and regulations. Sometimes we need to punish them. If we told them not to cut mangroves, not to use destructive fishing gears, they might listen but might not follow. Even though, we were not allowed to punish people by law, we should have social sanction as a social control.*

3. *Implement* The findings revealed that the communication on coastal resource and environment is not effective. One-way communication as top-down management is still in practiced. The community leaders reported that the government officers did not pay attention to the problems and suggestions voiced by the communities. In their point of views, the officers should listen more to the locals and work along side with them. The villagers have stayed in the community for long duration and knew well the problems and needs of their communities.

*Chetawut: Governmental organizations should communicate and provide more information on coastal resources and environment to local people. They did not listen at all to the locals. They just concentrated on what they should do or they had to do. Some activities were not accepted by the villagers. They should listen to the locals because local people were born in the areas or lived in the communities for so long. Locals knew very well the problems and needs of their communities.*

Local leaders suggested that two-way communication flows in drawing the coastal resources rehabilitation programme should be encouraged in the replacement of existing one-way communication dialogue between the governmental sectors and the local communities as the top-down management plan. Local communities have limited knowledge and information to cope with the rapid change in socio-economic conditions. The cooperation among tripartite namely the governmental organization, non-governmental organization and local community together with the network building both within and outside the community would provide the opportunity for the communities on arranging coastal resources rehabilitation programme. Two-ways communication is recommended since the locals view communication as the process of learning, thinking and working together not just one group listening to the other.

*Wattana: Knowledge and base line information on the technique used for coastal resource and environmental reservation is crucial. Even though we have learned from direct experience and utilized our local wisdom to solve the problems, we found that it's not enough. The world is changing very fast. We needed to know about the outside world and adapted our local wisdom to solve the problems. We could not work alone. We needed to work together with the government officers, academic persons and business sectors. Cooperation among people from different fields will result in the progress and success of the management.*

4. *Monitor* The information obtained from quantitative research indicated that 20 percent of local communities reported no mangrove monitoring process in their communities. According to the community opinions derived from in-depth interview, the local leaders and administrators should play the active roles as the facilitators/coordinators of the management plan

since they lived in the community for long and they knew the factors involved that result in the strength, weakness, opportunity and threat of local communities on management.

*Pradit: Local leaders such as village headmen, heads of sub-district or staff of local administration organization should be the key persons on arranging management plan. They worked in the communities. They knew the strength or weakness of the communities very well. Local officers should work hand in hand with the villagers and also listen to them. Officers should not focus only on the plan or policy from the central office because sometimes those plans or policy was not related directly to the real situations of the local communities.*

5. *Evaluate.* About one-fifth of community members reported that the evaluation process on coastal resource management was developed in their communities. Community leaders point out that monitoring and evaluating the coastal resources rehabilitation programme are essential since the information derived from them could help the local communities to examine factors affecting the success of the rehabilitation programme in the communities. It was found that community leaders asked for the help from academic persons and they realized that research on mangrove resources should be conducted to provide the knowledge-base data and information for formulating and adjusting the mangrove management plan.

*Wattana: Community members should involve in monitoring and evaluation activities in order to examine the strength, weakness, opportunity and threat of the rehabilitation programme that would help us to adjust our rehabilitation scheme.*

*Santud: Academic persons should work with local and provide knowledge for locals. Local people need some explanation about the coastal resources degradation and causes from academic staff. All coastal problems have an impact on quality of life and well-being of the communities. If local people understand the cause and effect, I am sure that they will cooperate in the restoration and rehabilitation programme. That will be great.*

6. *Adjust.* Local communities indicated that the cooperation among tripartite namely the governmental organization, non-governmental organization and local community together with the network building both

within and outside the community would provide the opportunity for the communities on arranging coastal and mangrove resources rehabilitation programme. Working together among all stakeholders can be viewed as learning together which could be resulted in adjusting the rehabilitation programme.

*Wattana: Government officers, staff of private sectors and locals should get together for better understanding on coastal resource management. I think that learning together is the important issue. Local people need to learn more. At present the government officers know far better than us. Local people need to keep track with the government officers and staff from private sectors. We should walk together hand in hand.*

*Pradit: All direct stakeholders from all areas no matter where they are from should come together and work together. Local communities could not work solely to solve the coastal problems. The problems are too complicate for locals to work alone.*

## 6. Conclusion and Recommendation.

There were evidences of declining fishery production, degrading water and sediment quality as well as increasing migration among people in labour force age in Pak Phanang estuary during the last 3 decades. In order to battle the declining coastal and mangrove resources, more than 80% of the local communities expressed the urgent need to conserve and rehabilitate the coastal and mangrove resources in Pak Phanang estuary. The findings from the study lead to the critical review on factors determining suitable development of coastal and mangrove resources. Evidently, it was suggested that "Adaptive Management" should be adopted to sustain the on-going mangrove rehabilitation programme because it is a learning-based process to improve management decision. Adaptive management focuses on learning and adapting through partnerships of all stakeholders. In order to conserve and maintain long-term sustainable yields from valuable coastal and mangrove resources, full cooperation among tripartite namely: the governmental sectors (both national and local levels), the non-governmental sectors and public participation are ultimately required. The adaptive approach involves the whole process starting from assessing or formulating the problems, designing the ways to solve the problem, working or implementing, analyzing, monitoring, evaluating and adjusting the management. In order to achieve the application of adaptive management,

the six REs namely REvalue, REstrategy, REprocess, REstructure, REcondition and REsearch were proposed as underlying factors determining sustainable development of mangrove resources as followed.

1. *REvalue*. The revalue is an important factor that has a significant impact on the problem assessment or problem formulation on mangrove condition. It was seen that the current direction of community and national development focused on the material and monetary profit which resulted in natural resources exploitation, including over utilization of mangrove forests and over harvesting of mangrove products. The findings from this study suggested that the revalue on the concept of materialization to self-sufficiency guided by His Majesty King Bhumibol Adulyadej should be introduced. His Majesty's vision on self-sufficiency is the important step toward a balanced development that will sustain both human being and the natural environments. The concept of self-reliance concentrated on the principles of producing enough to live on while preserving the integrity of the environment which is the most essential for sustainable development.

Our findings also suggested that it is needed to revalue the benefit from mangroves as perceived by local communities. The benefit of mangrove was not limited only on direct use values from the mangrove outputs that can be directly consumed. The benefit from the forests was also on indirect values that are mainly functional benefits. They are more concerned with ecological functions such as breeding and nursing grounds, maintaining coastal productivity, natural pollution control as well as shoreline stabilization and shore line protection. These ecological values are usually interrelated and difficult to quantify. Moreover, option values which can be values from biodiversity that can be used in the future as well as the culture and heritage values of maintaining mangroves for the next generation should be informed or distribute to the community members.

*Human resource management* is one of crucial factors that should be concerned. The new generation is not only the future of human resources but also the key actors for managing mangrove resources and environmental conservation. The socializing process for constructing consciousness should be held in the community. Cooperation among households, schools and temples/mosques are the key success factors in strengthening the public participation. The school curriculum should provide appropriate knowledge to solve local problems and management. The success of one generation would become a good model to be replicated for consecutive

generation. The continuity of activities conducted in the community will lead to sustainable development of mangrove rehabilitation programme.

2. *REcondition*. The condition on mangrove rehabilitation is an important factor for the design process of adaptive management. The findings from this study suggested that there is no specific model or blue print for the management of mangrove forests. The model will have to vary with the unique ecological and socio-economic conditions in each area. Therefore, there is the need for the design of mangrove rehabilitation scheme which is site-specific to suit the objectives of the coastal communities. With different goals and objectives for mangrove restoration, the same basic blue print cannot be drawn as previously carried out.

Moreover, the continuity of support from government in terms of technical, educational and financial support for the local community organizations that have the fundamental responsibility in encouraging participating in mangrove management were the ultimate need (Siriboon and Paphavasit, 2006). The co-management system is required and it is not just passing all the responsibilities between the governmental agencies and local communities. Local communities have the right to use and manage the forests under their community forest regime. The community rights, however, can be attenuated by the government organizations, in particular the Ministry of Natural Resource and Environment or the governmental agencies at provincial level. They should retain the rights to monitor and sanction in order to protect the misuse of the forests.

Even though, many times the community was not allowed by law to punish people who encroached upon the coastal resources. The social control through community mandate and social sanction should be encouraged to preserve and maintain the community resources and environment. In addition, the law enforcement should be practised strictly and continuously.

3. *REstrategy*. In the process of implementation, the strategy on mangrove management both in macro and micro levels needed to be redefined. The development of nations that emphasized only on the macro economic development should be reviewed. It was suggested that the strategy in terms of top-down management or centralization should be reformed and changed to bottom-up management and decentralization. There should be the two-way communication flows in drawing the mangrove resources management plan.

It was clear from this study that the success of mangrove reforestation programme depended upon the

public participation and awareness. This suggested that resource partitioning or sharing the mangrove resources should not solely be the government responsibility. The decision to allow local management efforts should be based on the capability of communities to enforce their local rules or mandates effectively in order to manage the forest sustainability. Moreover, such community rights should not involve the full ownership of the forests, but should be in the form of user rights. Governmental organizations should act as supervisors not executors. Management of the forests should be the joint responsibility of the local communities and the government. Local communities should have responsibility to conserve mangrove resources and environment with their own wisdom. The activities on planning, implementing and monitoring of the rehabilitation programme should be done through local leaders or groups. The learning process from each sector experiences should be promoted in order to share and implement in the management plan.

4. *REprocess*. In implementation process of adaptive management, the respondents voiced out that a successful community forest management regime could not be done solely by each community. The co-management was proposed and required active participation from all stakeholders with joint responsibility among the tripartite namely, governmental organization, non-governmental organization and local communities. Such effective co-management will require the active participation of existing coastal community organizations. This would allow the representatives of such organizations to have the right to express their opinions and make decision regarding to the management plan and regulations on the utilization of mangrove resources.

The findings also suggested that the process of co-management should be channeled from individual level, community organizations or groups within community up to the network building outside the community. Community capacity building should be commenced from human resource development. Local wisdom together with village intellectuals needed to be promoted. The awareness of young generation on the consciousness in mangrove conservation and rehabilitation should be initiated. The co-management process should begin within the community and expand to the network outside the community particularly the network building with other nearby communities.

5. *REstructure*. For monitoring process, the findings indicated that some villagers still were not satisfied with the community mangrove management since the management was still limited only in the form of

cooperation not participation. Many mangrove activities arranged in the community with numerous villager efforts, the so called "participation" still not existed. Joining the activities was only in temporary or occasionally cooperation as social functioning. Sometimes this was not on voluntary basis. Therefore, it was suggested that joining in any mangrove activities should be restructured from cooperation to participation under the concept of civil society. From the key informants' point of views the civil society will lead to the success of mangrove rehabilitation programme since it involved voluntary associations and informal networks in which individuals and groups were engaged in public activities.

The community capacity building should be done starting from human resource development. Local wisdom together with village intellectuals needed to be promoted. The community members, particularly direct stakeholders on coastal management, should be trained to do monitoring as well as pilot survey to design the key indicators in mangrove monitoring programme. Such capacity building will reinforce coastal communities with potential for reducing future vulnerability, increasing economic and social well-being through mangrove rehabilitation programme.

6. *REsearch*. Research work on mangrove resources and management is an important part on evaluate and adjustment processes of adaptive management. It was recommended that integrated management plan should be drawn based on knowledge bases researches and organized planning according to local geography livelihood and cultures of local communities in order to sustain the efforts. The multidisciplinary researches on ecological risk assessment and socio-economic conditions of communities are essential. These data can be integrated onto public awareness programme. Moreover, the time series data was needed for the analysis on changes in ecological and socio-economic conditions in the areas over time. There is an urgent need to increase the capacity building through dissemination of knowledge based researches and information and practical training appropriated to the problems and geographic location in the areas.

### Acknowledgement

The authors would like to express our appreciation to a number of institutions and individuals who assisted us in our work. The study was made possible through funding by the Department of Marine and Coastal Resources, Ministry of Natural Resources and Environment. We are grateful to the support of Professor Dr. Sanit Aksornkoe of the Thai Environment Institute (TEI) and the support

from International Society of Mangrove Ecosystem (ISME) and Japan Association for Mangroves (JAM). We greatly appreciate the research assistance of Mr. Sangob Panichchart, Mr. Viroj Teratanatorn, Assistant Professor Dr. Ajcharaporn Piumsombon, Ms. Bussarin Bangkaew, Ms. Chanettee Milintangkul, Ms. Itchika Sivaipram, Ms. Cholithaya Songroop, Ms. Nirucha Mongkonsangstree and Mr. Porntep Punarak.

### References

- Bangkaew, B. and S.Siriboon (2007): Impact of mangrove degradation on the economic conditions of coastal communities. In Proceeding of the National Seminar on Mangrove Ecosystem: Mangroves as the Coastal Welfare Center 12-14 September 2007 Petchaburi Province, Thailand (in Thai), 480-488.
- Milintangul, C.(2007): Gained sufficiency benefit from mangroves for community sustainability. In Proceeding of the National Seminar on Mangrove Ecosystem: Mangroves as the Coastal Welfare Center 12-14 September 2007 Petchaburi Province, Thailand (in Thai), 470-479.
- Paphavasit et.al (2008): Guidelines on the assessment of mangrove restoration efforts as mitigation to national hazards: Thailand's experiences. Paper presented at the ITTO/ISME/TEI/DMCP Workshop: Restoration of Mangroves and Other Coastal Forests Damaged by Tsunami and Other Hazards in the Asia-Pacific region; 21-25 August, 2008. TK Palace Hotel, Bangkok, Thailand.
- Paphavasit et.al (2008): Assessment on ecological integrity in Pak Phanang estuary, Nakhon Si Thammarat province. Department of Marine and Coastal Resources and Chulalongkorn University, 601pp.
- Siriboon, S. and N. Paphavasit (2006): Integration ecological consideration into post-tsunami mangrove rehabilitation program in relation to public participation in the International Conference on Population and Development in Asia: Critical Issues for Sustainable Future, 20-22 March 2006. Phuket, Thailand.
- Siriboon, S. (2000): Community awareness on the values and uses of mangrove forests: Case study of Nakhon Si Thammarat Province, Thailand. Paper presented at ICLARM-APN/PCE Seminar. Hotel Equatorial, Penang, Malaysia. April 10-11, 2000.15 pages.
- Suwannodom, S.S.Siriboon and N. Paphavasit (1998): An approach to rehabilitate mangrove forest in Thailand. In Proceeding of the Fifth International Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environment. Vol.II.5-7 October, 1998. San Diego, California, USA, II-241-247.



## 平成 21 年度 日本マングローブ学会 総会報告

第1号議案 平成20年度事業報告および収支決算報告の件  
平成20年度事業報告

### 1. 会員移動状況

入会6名、退会0名、現在会員104名

### 2. 事業報告

#### 2.1 役員会

平成20年5月9日 於：東京農業大学 森林総合  
科学科会議室

楢垣、鈴木、中村（武）、大田、飯島、皆川

・平成20年度年次大会について打ち合わせた

11月8、9日 東京農業大学において開催

公開シンポジウム

「国際的なマングローブ保全・再生・研究活動に  
ついて」

共催 ISME

・ミャンマー災害募金について相談した チラシで  
募金を呼びかける

平成20年9月12日（臨時）於：東京農業大学森林  
総合科学科会議室

中村（武）、大田、皆川

・ホン先生コスモス国際賞受賞講演会について打ち  
合わせた

平成20年11月8日 於：東京農業大学

・平成20年度総会について

・その他

#### 2.2 平成20年度（第14回）年次大会の開催

平成20年11月8、9日

於：東京農業大学世田谷キャンパス13号館2  
階

発表件数：一般講演 14件

#### 2.3 公開シンポジウム

「国際的なマングローブ保全・再生・研究活動に  
ついて」

共催 ISME

・GEF/UNEP-South China Sea Project “Reversing  
Environmental Degradation Trends in the South  
China Sea and the Gulf of Thailand” Ong Jin  
Eong（元・サインズマレーシア大）

・ITTO/ISME Project “Guideline for the  
Restoration of Mangroves and Other Coastal  
Forests damaged by Tsunamis and Other Natural  
Hazards in the Asia-Pacific Regions”

Chan Hung Tuck（元・マレーシア国立森林研）

・乾燥帯におけるマングローブ林の利用と維持機構  
に関する予察的研究

宮城豊彦（東北学院大）ほか

#### 2.4 マングローブサイエンス第6号の発行

### 3. 平成20年度収支決算報告

## 平成20年度 収支決算報告 (平成20年4月1日～平成21年3月31日)

1. 収入の部 単位:円

科目	予算額	決算額	増減△	摘要
前年度繰越金	717,851	717,851	0	
1. 会費	270,000	198,000	△ 72,000	
2. 事業収入(計)	300,000	226,000	△ 74,000	
学会費	300,000	226,000	△ 74,000	大会参加費(6,000×34, 1000×3)
受託事業	0	0	0	
3. 寄付金	60,000	148,000	88,000	農大からの学会開催助成金等
4. 雑収入	1,500	957	△ 543	普通預金利息
5. 合計	1,349,351	1,290,808	△ 58,543	

2. 支出の部 単位:円

科目	予算額	決算額	増減△	摘要
1. 事業費(計)	800,000	270,824	△ 529,176	
学会開催費	300,000	270,824	△ 29,176	平成20年度(第14回)大会(11月8,9日)、懇親会費(180,000円)、お車代40,000円、花博シンポ会場費(20,000円) (学会誌Vol.6印刷代は21年度で支払い)
学会誌刊行費	500,000	0	△ 500,000	
受託事業費	0	0	0	
その他	0	0	0	
2. 管理費(計)	110,000	9,740	△ 100,260	
会議費	30,000	0	△ 30,000	
旅費・交通費	10,000	0	△ 10,000	
通信費	30,000	9,740	△ 20,260	大会開催案内状送付および投稿者との連絡
印刷・製本費	0	0	0	
消耗品費	10,000	0	△ 10,000	
賃借料	0	0	0	
負担金	0	0	0	
雑費	30,000	0	△ 30,000	
3. 予備費	50,000	0	△ 50,000	
4. 小計(1.+2.+3.)	960,000	280,564		
5. 次年度繰越金	389,351	1,010,244	620,893	
6. 合計	1,349,351	1,290,808	△ 58,543	

## 平成20年度 貸借対照表 (平成20年4月1日～平成21年3月31日)

収支決算	収入総額	1,290,808円
(平成21年3月31日現在)	支出総額	280,564円
	差引残高	1,010,244円
	単位:円	

借方(資産の部)			貸方(負債・資本の部)		
科目	金額	摘要	科目	金額	摘要
1. 現金	8,394		負債		
2. 普通預金	1,001,850		1. 未払金	0	
3. 郵便振替口座	0		2. 預り金	0	
4. 損益	0		資本		
			次年度繰越金	1,010,244	
資産合計	1,010,244		負債・資本合計	1,010,244	

## 会計監査報告

平成20年度会計監査の結果、適法であり正確であることを認めます。

平成21年11月2日

監事 河合省三 印  
監事 豊原秀和 印

## 第2号議案 平成21年度事業計画および収支予算案の件

## 1. 平成21年度事業計画 案

## 1.1 役員会

平成21年5月29日 於：東京農業大学 森林総合  
科学科会議室

愉垣、中村（武）、大田、飯島、中村（幸）、皆川

・平成21年度年次大会について打ち合わせた

11月7、8日 東京農業大学において開催

## 特別講演 11月7日（土）

- ・ Ecological Assessment on the Success of Mangrove Restoration in Pak Phanang Bay, Nakhon Si Thammarat, Southern Thailand, Nittharatana Paphavasit (Chulalongkorn Univ.)
- ・ Assessment of Community Capacity to sustain the On-going Mangrove Rehabilitation

Programme in Pak Phanang Bay, Nakhon Si  
Thammarat, Southern Thailand

Siriwan Siriboon (Chulalongkorn Univ.)

平成21年11月8日 於：東京農業大学

・平成21年度総会について

・その他

## 1.2 年次大会：第15回日本マングローブ学会大会

・研究発表

・公開シンポジウム

## 1.3 マングローブサイエンス 第7号の発行

平成22年3月 発行

原稿締め切り 平成21年12月10日

## 1.4 編集委員会の開催

平成21年5月29日

平成21年12月 予定

## 2. 平成21年度予算案

## 平成21年度 予算案（平成21年4月1日～平成22年3月31日）

## 1. 収入の部

単位：円

科目	20年度決算額	21年度予算額	増減△	摘要
前年度繰越金	717,851	1,010,244	292,393	
1. 会費	198,000	270,000	72,000	5,000円×45人+3,000円×15人
2. 事業収入(計)	226,000	300,000	74,000	
学会費	226,000	300,000	74,000	大会参加費(6,000円×50人)
受託事業	0	0	0	
3. 寄付金	148,000	60,000	△ 88,000	農大からの助成金ほか
4. 雑収入	957	1,500	543	預金利息ほか
5. 合計	1,290,808	1,641,744	350,936	

## 2. 支出の部

単位：円

科目	20年度決算額	21年度予算額	増減△	摘要
1. 事業費(計)	270,824	1,300,000	1,029,176	
学会開催費	270,824	300,000	29,176	第15回大会(平成21年11月)
学会誌刊行費	0	1,000,000	1,000,000	学会誌(Vol. 6, Vol. 7)印刷代
受託事業費	0	0	0	
その他	0	0	0	
2. 管理費(計)	9,740	110,000	100,260	
会議費	0	30,000	30,000	
旅費・交通費	0	10,000	10,000	
通信費	9,740	30,000	20,260	学会誌(Vol.6)送料、15回大会案内等送料
印刷・製本費	0	0	0	
消耗品費	0	10,000	10,000	
賃借料	0	0	0	
負担金	0	0	0	
雑費	0	30,000	30,000	
3. 予備費	0	50,000	50,000	
4. 小計(1.+2.+3.)	280,564	1,460,000		
5. 次年度繰越金	1,010,244	181,744	△ 828,500	
6. 合計	1,290,808	1,641,744	350,936	

## 第3号議案

## 役員改選

平成22年度～平成23年度

顧問：宮脇昭、神足勝浩、中村武久

会長：楢垣宮都

副会長：松田義弘、鈴木邦雄（編集担当）、大田克洋（会計担当）

理事：飯島倫明（総務担当）、皆川礼子（庶務担当）  
入江憲治、荻野和彦、菊池多賀夫、近藤勝彦、  
佐々木寧、佐藤明、長野敬英、中村幸人、馬  
場繁幸、宮城豊彦、持田幸良

監事：河合省三、豊原秀和

## 編集委員会

委員長：鈴木邦雄

委員：飯島倫明、大田克洋、皆川礼子、持田幸良  
Sanit Aksornkoae, Gordon s. Maxwell

## 第4号議案

## その他

- ・次年度以降の年次大会開催について  
平成22年度 東京農業大学にて開催

## 平成 21 年度日本マングローブ学会大会プログラム (於：東京農業大学 13 号館 2 階)

### 第一日目 (11 月 7 日)

*Sonneratia* 属マングローブにおけるプロトプラスト単離効率化のための条件検討

土屋慎平 (横浜国大) ほか

マメ科マングローブのカルス化とプロトプラスト単離・培養

井上 文 (横浜国大) ほか

*Sonneratia* 属植物の髄腔の形態に関する新知見

大田克洋 (東京農大) ほか

マングローブ林開発と修復に伴う環境変化と住民生活への影響 — タイ王国, サムットソクラーム県クローンコン地区の事例 —

Kritmarorote Krittaluck (Hawaii Pacific Univ.) ほか

西表島の海側前縁部におけるマングローブ種の定着と立地環境

真栄城 亮 (横浜国大) ほか

### 特別講演

あいさつ 檜垣宮都 (東京農大)

講演者紹介 馬場繁幸 (琉球大・ISME)

Assessment of Community Capacity to sustain the Ongoing Mangrove Rehabilitation Programme in PaK Phanang Bay, Nakhon Si Thammarat, Southern Thailand

Siriwan Siriboon (Chulalongkorn University)

Ecological Assessment on the Success of Mangrove Restoration in Pak Phanang Bay, Nakhon Si Thammarat, Southern Thailand

Nittharatana Paphavasit (Chulalongkorn University)

### 総 会

懇 親 会 生協 カフェテリア・グリーン

### 第二日目 (11 月 8 日)

マングローブ植林地におけるメタンと一酸化二窒素放出量の推定

今村正裕 (電中研) ほか

マングローブ植物の根圏窒素動態

井上智美 (環境研) ほか

マングローブ氾濫源における有機炭素収支

立田 稔 (電中研) ほか

メヒルギ高密度植林地の自己間引き過程を考慮した炭素貯蔵量予測

石井 孝 (電中研) ほか

潮汐によるマングローブ林の水循環における 2 次クリーク

の役割

古川恵太 (国総研)

マングローブ物理学の現状

松田義弘 (元・東海大)

ベトナム、カンザ地区におけるマングローブ再造林プロジェクトと日越交流

石原修一 (帝京高) ほか

Pre-cyclone and Post-cyclone Growth Performance of Some Planted Mangrove Species on the Abandoned Agricultural Land in the Ayeyarwady Delta, Myanmar Toe Toe Aung (横浜大) ほか

タイのマングローブ林に分布するシダ植物の生育特性

皆川礼子 (東農大) ほか

## MANGROVE SCIENCE 投稿規定

本学会誌に掲載する論文の種類は、原著論文、総説論文、短報、資料とする。

1. 本会正会員は本学会誌へ投稿できる。著者複数の場合は少なくともその内の一人が正会員でなければならない。但し、編集委員会が依頼した場合はこの限りではない。
2. 原著論文は和文または英文で書かれたオリジナルとし、別に定める執筆要領に従って作成されたものとする。
3. 総説論文は、編集委員会がテーマや分野を定め、これの執筆者を選定し依頼したもの、または会員が総説論文として投稿し、編集委員会が認めたものとする。
4. 短報は原著論文に準じ、内容が編集委員会において短報と判定されたもので、刷り上りは3ページを超えないものとする。
5. 原稿は紙ベースで3部提出する。
6. 原稿の採否は編集委員会が決定する。受け付けられた原稿の内、原著論文、短報については、編集委員会が選定した複数の専門家に校閲を依頼する。その結果、

内容、体裁に問題ありと判断された場合は、その旨を著者に伝えて修正を求める。また受理できないと判定された論文は理由を明記して著者に返却する。

7. 受理された場合は完全原稿を電子ファイル（Word原稿）にて提出する。著者校正は原則として初稿に限っておこない、誤植の訂正にとどめる。
8. 論文は図表を含め、刷り上り原則10ページまでとし、超過分については著者負担とする。ただし編集委員会が依頼した原稿はこの限りではない。
9. 別刷りは50部までを無料とし、50部以上は著者負担とする。
10. 原稿は下記住所に送付する。また本学会誌に関する問い合わせ先は以下の編集委員会宛とする。

〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-2

横浜国立大学 教育人間科学部

日本マングローブ学会編集委員会

持田 幸良

Tel & Fax: 045-339-3414 e-mail: mochida@ymu.ac.jp

## 執筆要領

1. 論文原稿は和文または英文とし、次の順序で記述する。  
和文の場合：(1) 表題、(2) 英文表題、(3) 著者名、(4) ローマ字著者名、(5) 所属、(6) 英文アブストラクト、(7) Key Word (アルファベット順に5語以内)、(8) 本文、(9) 文献。  
英文の場合：(1) 表題、(2) 著者名、(3) 所属、(4) 英文アブストラクト、(5) Key Word (アルファベット順に5語以内)、(6) 本文、(7) 文献。
2. 和文原稿の場合はMS明朝10.5ポイント、英文原稿の場合はTimes New Roman10.5ポイントを使用してください。フォーマットはとくに指定しませんが、1段組み、40字、36行を目安に作成してください。
3. 論文中に引用した文献はすべて記載するものとし、文献の書式は下記の例にならぬ。配列は著者のABC順とする。Webサイトの場合は、そのアドレスとする。

<例>

Briggs S. V. (1977) : Estimates of biomass in a temperate mangrove community. *Journ. Austral. Ecol.*, 2, 369-373.

田川日出男 (1982) : マングローブとマンガルの生態

1. 海洋と生物4, (2) :82-91.

藤間剛・中村久美・Pipat PATANAPONPAIBOON・荻野和彦 (1991) : 冠水深と植栽密度がヒルギダマシ *Avicennia marina* の直立気根に与える影響. *TROPICS* 1, (1) :75-82.

Watson J. G. (1928) : Mangrove forest of the Malayan Peninsula. *Malay. For. Rec.* 6, 275pp.

4. 和文原稿で動植物名を記す場合、和名はカタカナ書きとし、学名はイタリック体とする。
5. 論文中への図表の掲載は自由であるが、そのまま印刷できるもの（清書した図表）であること。また写真は原則として白黒プリント写真とすること。ただしカラー写真を印刷希望の場合は、印刷費を著者負担とする。
6. 図 (Fig.) 表 (Tab.) および写真 (Fig. または Plate) には英文でキャプションをつける。その説明は別紙に書き、図表と一致するよう記号および番号を (Fig. 1, Tab. 1, Plate 1 のように) 明示する。
7. 本学会誌に関する問い合わせ先は編集委員会宛とする。

---

---

## 日本マングロープ学会役員名簿 (2010年度・2011年度)

---

---

顧問：宮脇昭，神足勝浩，中村武久  
会長：楢垣宮部  
副会長：松田義弘，鈴木邦雄（編集担当），大田克洋（会計担当）  
理事：飯島倫明（総務担当）  
          皆川礼子（庶務担当）  
          入江憲治，荻野和彦，菊池多賀夫，近藤勝彦，佐々木肇，  
          佐藤 明，長野敏英，中村幸人，馬場繁幸，宮城豊彦，持田幸良  
監事：河合省三，豊原秀和

---

### Mangrove Science Vol. 7, 2010

---

編集・発行 日本マングロープ学会  
                  鈴木邦雄（編集委員長）  
編集委員会 〒240-8501  
                  横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-2  
                  横浜国立大学教育人間学部  
                  植物生態学研究室内 電話番号 045-339-3414  
日本マングロープ学会事務局  
                  〒156-8502  
                  東京都世田谷区桜丘 1-1-1  
                  東京農業大学地域環境科学部森林総合科学科  
                  林産化学研究室内 電話番号 03-5477-2280  
印刷 別 共進印刷株式会社  
                  横浜市港南区港南 3-5-30  
印刷・発行日 2010年6月 印刷  
                  2010年6月 発行

---



