

インドネシア・バリ島に植栽した *Rhizophora mucronata* の成長と植栽環境

米田令仁 (森林総研)

門脇大輔・羽鳥祐之 (国際協力機構)

Fatahur Rachim・I Komang Tri Wijaya Kusuma・Ir. Sasmitohadi (インドネシア林業省)

**Abstract:** Growth of 15-year-old *Rhizophora mucronata* trees was compared at different ground level and salinity sites in Bali Island, Indonesia. Mean stem diameter at 30cm above the highest prop root ( $D_{R0.3}$ ) and tree height (H) in each plot were 4.8-7.5 cm, 5.8-12.9m, respectively. The multi-stemmed trees showed lower mean  $D_{R0.3}$  and H in the plots. Mean  $D_{R0.3}$  and H decreased with increase of soil water salinity, although no correlation with the ground level. *R. mucronata* had multi-stem in higher saline condition. Thus, tree growth and architecture of *R. mucronata* would be influenced by soil water salinity. It is important to estimate the above and below-ground biomass when we evaluate the growth of mangrove plantation, because resource allocation in mangrove tree changes with salinity condition.

**Keywords:** Mangrove, Plantation, Growth, Salinity, Indonesia

**要旨:** インドネシア・バリ島南部の Benoa 湾周辺において、植栽後 15 年経った *Rhizophora mucronata* の人工林の成長の違いとその要因を明らかにした。各プロットにおいて、*R. mucronata* は支柱根 0.3m 上の平均直径( $D_{R0.3}$ )で 4.8-7.5 cm, 平均樹高(H)は 5.8-12.9m を示し、各プロット間で大きな差が現れた。植栽された場所の相対地盤高は *R. mucronata* の成長との間に相関関係は見られなかった。土壌水塩分濃度の測定から、*R. mucronata* は土壌水塩分濃度が増加すると  $D_{R0.3}$  と H が減少し、1 本あたりの幹の数が増加した。このように *R. mucronata* の成長と樹型は土壌水塩分濃度に影響されることが示唆された。塩分濃度が変わると樹木内の資源配分が変わるという報告があることから、植栽したマングローブの成長を評価する際には、地上部だけでなく地下部を含めた評価が必要になると考えられた。

**キーワード:** マングローブ, 人工林, 成長, 塩分環境, インドネシア

## I. はじめに

インドネシア・バリ島南部の Benoa 湾周辺において、国際協力事業団(現:国際協力機構, JICA)はインドネシア林業省と共同で 1992 年から養殖池跡地にマングローブの造林技術開発, 森林経営の開発, 普及活動や研修等をおこなってきた。Benoa 湾周辺では昔からマングローブが塩田に転換され, 近年では更に養殖池に転換され, エビ等の養殖がおこなわれてきた。しかし, 伝染病などによって収穫量が落ちた養殖池は放棄されたため, プロジェクト開始の時には Benoa 湾周辺は放棄された養殖場が広がっていたと報告されている (5)。1992 年からおこなわれてきたプロジェクトの造林事業では, 樹種, 地盤高, 植栽密度などを変えることで, 植栽苗の生存率, 成長がどのようになるのか等, 多くの試験がおこなわれてきた。

マングローブ人工林の成長に関する研究は, 現存量を調べることで, これまで広くおこなわれており報告例も多い (6, 11, 12)。マングローブを構成する樹種の生理生態特性は, 冠水頻度や塩分濃度に影響されることから, 同一植栽地での成長比較やその要因に関する研究が報告されているが (4, 8), これらは植栽初期の比較が多く, 植栽後数十年経った人工林の研究例は少ない。

本研究では 15 年経ったマングローブ人工林において, 樹種, 樹齡, 植栽密度が同じ林分で, 植栽された樹木の成長を比較し, 差があった場合その要因を明らかにする。

## II. 調査地の概況および調査方法

本調査はインドネシア共和国バリ島南部 Benoa 湾の Prapat Benoa 国有林内にあるマングローブ情報センター (Mangrove Information Center; MIC) 周辺のマングローブでおこなった。バリ島低地の最高気温は 31-33°C, 最低

Reiji YONEDA (Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki 305-8687), Daisuke KADOWAKI, Hiroyuki HATORI (Japan International Cooperation Agency), Fatahur RACHIM, I Komang Tri WIJAYA KUSUMA, Ir. SASMITOHADI (Ministry of Forestry, Republic of Indonesia). Growth of *Rhizophora mucronata* and the environmental factors at plantation forest in Bali Island, Indonesia.

表-1. 各調査区における平均直径、樹高、立木密度、1本あたりの幹の本数、地上部現存量  
Table1. Mean  $D_{R0.3}$ , mean height, stand density, stem/tree ratio and above-ground biomass in each plots

Plot	Tambak	$D_{R0.3}$ [cm]				Height [m]				Density [trees/ha]			Number of Stem			Above-ground Biomass [t/ha]				
		Rm		Ra		Rm		Ra		Rm	Ra	Total	Rm	Ra	Total	Rm	Ra	Total		
		Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE											
Plot A	Tambak17	4.83	±0.15 <sub>a</sub>	4.29	±0.41	5.81	±0.11 <sub>d</sub>	10.68	±0.09 <sub>c</sub>	8.33	±1.10	2300		2300	4.13		4.13	94.27		94.27
Plot B	Tambak28	7.38	±0.27 <sub>a</sub>			12.87	±0.18 <sub>a</sub>					1900	600	2500	2.84	2.67	2.80	146.91	13.89	160.80
Plot C	Tambak30	7.46	±0.24 <sub>a</sub>			11.51	±0.20 <sub>b</sub>					3300		3300	2.00		2.00	182.67		182.67
Plot D	Tambak36	7.27	±0.25 <sub>a</sub>			10.67	±0.17 <sub>c</sub>					3200		3200	2.78		2.78	246.21		246.21
Plot E	Tambak41	6.46	±0.20 <sub>b</sub>									3400		3400	2.94		2.94	203.23		203.23
Plot F	Tambak96	4.37	±0.13 <sub>c</sub>	3.31	±0.31	6.60	±0.14 <sub>d</sub>	5.01	±0.87			2500	1364	3864	4.55	1.83	3.59	80.68	10.58	91.27

Rm: *Rhizophora mucronata*, Ra: *R. apiculata*

気温は 22-24°C で、1 年を通して気温の変化は少なく、年間降水量は約 1500mm とされている (14)。この地域では明瞭な雨期と乾期があり、概ね 5-10 月が乾期、11-4 月が雨期とされている。本調査は 2009 年 2 月と 8 月におこなった。

測定対象としてヒルギ科の *Rhizophora mucronata* (和名: オオバヒルギ) の人工林を選んだ。*R. mucronata* はアフリカ東部から東南アジア周辺にかけて広く分布する (13)。本研究では 1994 年に 2m×2m 間隔で植栽した 15 年生の林分でおこなった。異なる養殖池 (現地名: Tambak) 跡植栽地林分内に 10m×10m の調査区を設定し、調査区内にある支柱根の上 0.3m の部分の周囲 ( $G_{R0.3}$ ) が 12cm 以上の樹木について、樹高 (H) を測定した。*Rhizophora* 属は支柱根を持つことから、 $G_{R0.3}$  を測定し、直径 ( $D_{R0.3}$ ) に換算した。養殖池跡地は水門はなく、周囲の水が流れてくる状態にしてあり、干潮の影響を受けるようになっている。

相対地盤高 (Relative Ground Level; RGL) の調査は干潮時におこなった。長さ 2m の竹を用意し、全体をチョークで塗った後、干潮時に各調査区に 5 箇所ずつ設置した。チョークが消えた部分を冠水による消失と仮定し、消えた部分の高さを設置した期間の最高潮位とし、潮汐表と照合することで相対地盤高を求めた。

海水および土壌水塩分濃度の測定はそれぞれ満潮時、干潮時におこなった。土壌水塩分濃度の測定は、干潮時に塩化ビニルパイプを用いて直径 4cm、深さ 50cm の穴を作り、穴に集まった土壌水をポンプで吸い上げボトルに採取した。一晩放置した後に上澄み液を採取し、塩分

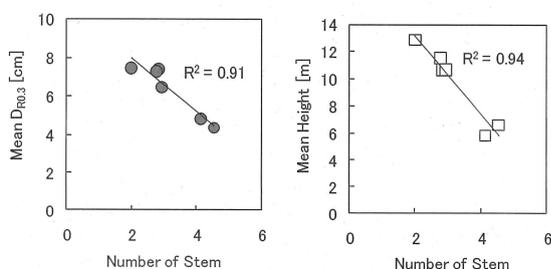


図-1. 1本あたりの幹の本数と平均 $D_{R0.3}$ およびHの関係  
Figure1. Relation between Stem number and mean  $D_{R0.3}$  and H for *R. mucronata*

表-2. 各調査区(Tambak)における相対地盤高および土壌塩分濃度  
Table2. Relative ground level and soil water salinity in each plots

Plot	Tambak	Ground Level [m]		Salinity [%]		
		Mean	SE	Sea Water	Soil Water	
					Mean	SE
Plot A	Tambak17	1.76	±0.07	30.00	31.60	±0.60
Plot B	Tambak28	1.79	±0.04	28.00	29.80	±0.40
Plot C	Tambak30	1.65	±0.05	21.00	23.20	±0.80
Plot D	Tambak36	1.72	±0.01	24.00	27.00	±1.76
Plot E	Tambak41	1.65	±0.01	28.00	29.20	±1.07
Plot F	Tambak96	1.86	±0.04	32.00	34.80	±1.02

濃度計 (HDS-1024; Daeyoon Scale Industrial Co., Ltd) を用いて塩分濃度の測定をおこなった。

### III. 結果と考察

1. 林分構造と植栽樹木の成長 植栽された *Rhizophora mucronata* の立木密度は 2300 (Plot A) から 3864 本/ha (Plot F) であった。立木密度が高かった Plot F では天然更新による *Rhizophora apiculata* が出現したためであった。平均  $D_{R0.3}$  は 4.37±0.13 (Plot F) から 7.46±0.24cm (Plot C), 平均 H は 5.81±0.11m (Plot A) から 12.87±0.18m (Plot C) であった (表-1)。これらの数値はこれまでに報告されてきている *Rhizophora* 属人工林の直径や樹高の値の範囲にあり (3, 12), 他の植栽地と同程度の成長であったと言える。しかし、同樹齢でも養殖池間で平均  $D_{R0.3}$  と H に差が見られた。

各調査区において、木 1 本あたりにおける平均の幹の数が 2.0 から 4.6 本を示した (表-1)。直径と幹の数の相関をみると、1 本あたりの幹の数が増えるほど直径が細くなり樹高が低くなる傾向を示した (図-1)。

Komiyama ら (9) による推定式で地上部の現存量を計算した結果、91.27 (Plot F) から 246.21t/ha (Plot D) であった (表-1)。植栽 12 から 15 年経った *Rhizophora* 属の人工林の現存量は 107 から 159t/ha とされており (1, 6), 高い成長を示した Plot の推定地上部現存量は他の地域の *Rhizophora* 人工林よりも大きく上回る結果になった。樹高、直径、立木密度でその他の試験地と大きく違いがないため、計算上過大な数値が現れたと考えられる。その原因として、今回用いた推定式には材密度を入れる必要があるが、材密度を Komiyama らの使用している数値 (*R. mucronata*,  $\rho = 0.70$ ) を用いたことが考えられる。Komiyama らは材密度を一次林、二次林の調査から求めているため、本研究の *R. mucronata* が一次林、二

次林よりも低い材密度である場合は、本研究の推定量は過大になると考えられる。

2. 相対地盤高と植栽木の成長 調査区の相対地盤高は  $1.65 \pm 0.06$  (Plot C) から  $1.86 \pm 0.04$  m (Plot F) であった (表-2)。養殖池間で地盤高が約 20cm 異なるため、養殖池間でマングローブの冠水時間が異なっていた。*R. mucronata* の RGL の関係を図2に示す。Ye ら (15) は冠水時間を変えることでマングローブの成長が変わると報告しているが、本研究の地盤高の範囲では *R. mucronata* の成長に地盤高の影響は現れなかった。

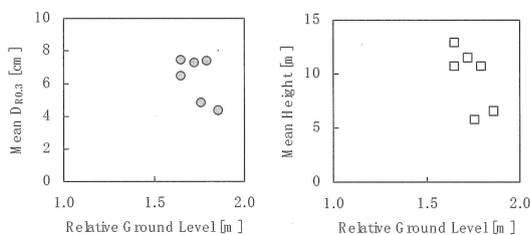


図-2. 相対地盤高と平均  $D_{R0.3}$  および H の関係  
Figure2. Relation between relative ground level and mean  $D_{R0.3}$  and H for *R. mucronata*

3. 塩分濃度と植栽木の成長 各調査区で採取された海水の塩分濃度は 21.0 (Plot C) から 32% (Plot F), 土壌水の塩分濃度は  $23.2 \pm 0.80$  (Plot C) から  $34.8 \pm 1.02\%$  (Plot F) であった (表-2)。土壌水塩分濃度が高い Tambak では海水の塩分濃度も高いことから、養殖池間での土壌水塩分濃度の違いは、養殖池に流れてくる海水の塩分濃度に起因することが示唆された。

土壌水塩分濃度と各調査区における *R. mucronata* の平均  $D_{R0.3}$  と H の関係を図-3に示す。平均  $D_{R0.3}$  と H は土壌水塩分濃度と負の相関をもち、土壌水塩分濃度が高くなるほど植栽木の樹高と直径は小さくなった。Khan と Aziz (7) の研究では、*R. mucronata* は海水の半分の塩分濃度 (地域で異なるが海水の塩分濃度は約 35%) で最も高い乾重および樹高になると報告している。今回の研究においては、*R. mucronata* が高い直径および樹高成長を示した Plot C の土壌水塩分濃度は 23.2% を示し、本調査区の中では Plot C の塩分濃度が *R. mucronata* にとって適した濃度であったと考えられる。

また、土壌水塩分濃度が高くなるほど 1 本あたりの幹の数が増えた (図-4)。Macnae (10) は、土壌塩分濃度が 55% を示す場所に生育する *R. mucronata* は株立ちした林分になると報告しており、土壌水塩分濃度が植栽樹木の樹型を変える一因であることが明らかになった。

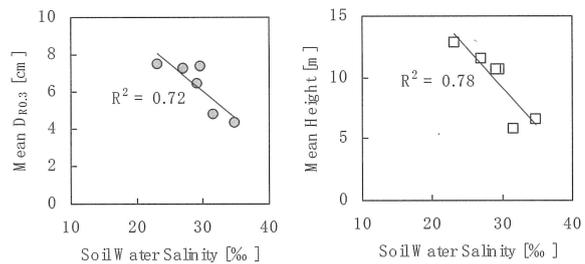


図-3. 土壌塩分濃度と平均  $D_{R0.3}$  および H の関係  
Figure3. Relation between soil water salinity and mean  $D_{R0.3}$  and H for *R. mucronata*

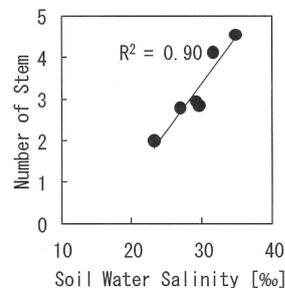


図-4. 土壌塩分濃度と1本あたりの幹の本数の関係  
Figure4. Relation between soil water salinity and stem number for *R. mucronata*

#### IV. おわりに

以上の結果から、植栽 15 年経った *R. mucronata* は河川に近く海水の塩分濃度が低い場所では高い樹高と直径をもつ林分になり、海水の塩分濃度に近い場所に植栽された *R. mucronata* は低い樹高、直径で株立ちした林分になったと考えられる。Clough ら (2) は *Rhizophora stylosa* を用いて株立ちしたと株立ちしていない個体の現存量を比較したが、それぞれで地上部と根への資源配分が異なると報告している。今回の調査においても、株立ちした個体では株立ちしていない個体よりも支柱根の量が多く、広く根が広がっているように観察された。そのため、環境要因による現存量の比較をする際には、根を含めた評価もおこなう必要があるだろう。

#### 引用文献

- (1) CHRISTENSEN, B. (1978) Biomass and primary production of *Rhizophora apiculata* Bl. in a mangrove in southern Thailand. *Aqua. Bot.* **4**: 43-52.
- (2) CLOUGH, B.F., DIXSON, P., DALHAUS, O. (1997) Allometric relationship for estimating biomass in multi-stemmed mangrove trees. *Aust. J. Bot.* **45**: 1023- 1031.
- (3) FAO (1994) Mangrove Forest Management Guidelines. FAO Forestry Paper. P. 117. FAO

- (4) FELLER, I.C. (1995) Effect of nutrient enrichment on growth and herbivory of dwarf red mangrove (*Rhizophora mangle*) Ecol. Monog. **65**: 477-505.
- (5) 門脇大輔 (2009) インドネシアでの JICA マングローブプロジェクト. 熱帯林業 **75**: 32-37
- (6) KAIRO, J.G. LANG'AT J.K.S., DAHDOUH-GUEBAS, F., BOSIRE, J., KARACHI, M. (2008) Structural development and productivity of replanted mangrove plantation in Kenya. For. Ecol. Manage. **255**: 2670-2677.
- (7) KHAN, M.A. and AZIZ, I. (2001) Salinity tolerance in some mangrove species from Pakistan. Wet. Ecol. Manage. **9**: 219-223.
- (8) KITAYA, Y., SUMIYOSHI, M., KAWABATA, Y., MONJI, N. (2002) Effect of submergence and shading of hypocotyls on leaf conductance in young seedlings of the mangrove *Rhizophora stylosa*. Trees **16**: 147-149.
- (9) KOMIYAMA, A., POUNGPARN, S., KATO, S. (2005) Common allometric equations for estimating the tree weight of mangroves. J. Trop. Ecol. **21**: 471-477.
- (10) MACNAE, W. (1968) Mangroves in eastern and southern Australia. Aust. J. Bot. **14**: 67-104.
- (11) ONG, J.E., KHOON, G.W., CLOUGH, B.F. (1995) Structure and productivity of a 20-year-old stand of *Rhizophora apiculata* Bl. mangrove forest. J. Biogeog. **22**: 417-424.
- (12) SRIVASTAVA, P.B.L., GUAN, S.L., MUKTAR, A. (1988) Progress of crop in some *Rhizophora* stands before first thinning in Matang Mangrove Reserve of Peninsula Malaysia. Pertanika **11**: 365-374.
- (13) TOMLINSON, P.B. (1986) The Botany of Mangroves. Cambridge University Press, Cambridge, England, P. 419.
- (14) WHITTEN, T., SOERIAATMADJA, R.E., AFIFF, S.A. (1996) The Ecology of Java and Bali. The Ecology of Indonesia Series. Periplus Editions, Singapore. P.969.
- (15) YE, Y., TAM, N.F.Y., WONG, Y.S., LU, C.Y. (2003) Growth and physiological responses of two mangrove species (*Bruguera gymnorhiza* and *Kandelia candel*) to waterlogging. Env. Exp. Bot. **49**: 209-221.