

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 5 月 29 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24405002

研究課題名(和文) マングローブ再生林のCO<sub>2</sub>固定能モデルと有機炭素供給力の定量評価に関する研究研究課題名(英文) Modelling of CO<sub>2</sub> sequestration of the rehabilitated mangrove trees and quantification of organic supply to the surroundings

研究代表者

野瀬 昭博 (NOSE, Akihiro)

佐賀大学・農学部・客員研究員

研究者番号：80045137

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 10,200,000円

研究成果の概要(和文)：熱帯沿岸域のマングローブ植林では十分な管理が実施されておらず、そのような再生林では期待される生態学的機能を十分に発揮することはできない。本研究では、マングローブ再生林の現状について樹木密度や樹高等を調査し、放置された再生林は5,500本/haを超える過密林となる現状を明らかにした。また間伐試験後の立木調査や群落構造の変化を調査した。間伐による材積は65.4 m<sup>3</sup>/haで、その経済価値は200-500 USD/haと評価された。間伐による森林管理が健全な再生林を育成し、CO<sub>2</sub>固定能や生態学的機能、また利用可能資源の確保など、沿岸地域の経済活動に貢献できる可能性を示すモデルの確立を目指した。

研究成果の概要(英文)：In the tropical coastline, Mangrove have been rehabilitated for 50 yrs more, but almost of them are abandoned without any forest managements. Those trees are suffered by stress under light competition, and contributes little to multi-ecological roles in the tropical coastline. In this study, current situations of the rehabilitated trees were clarified on aspects of population densities and height etc. Those unmanaged trees exceed the number of 5,500 tree/ha, and which were suffered by light competition in the crowded canopy. In addition, it was estimated that in the half thinned plot, thinned trees amounted to 65.4 m<sup>3</sup>/ha more, and it's economic worth of 200-500 USD/ha was attributed to local communities. A forest management model with thinning in the rehabilitated trees attributing enhancement of CO<sub>2</sub> sequestration, multi-ecological roles, wood resources, and contributions to local economy have been discussed.

研究分野：熱帯作物作物改良学

キーワード：マングローブ 密度効果 光合成 群落構造 生長モデル 地球温暖化 再生林 生態学的役割

## 1. 研究開始当初の背景

地球温暖化や生物多様性など地球規模の環境問題は、早急に取り組むべき課題である。マングローブ林は地球上にある森林面積の0.5%と、その占有面積は小さいが、健全なマングローブ生態系は炭素の隔離、海面上昇や嵐の緩衝等、気候変動と海面上昇の影響緩和等に重要な役割を果たし、また藻場と合わせた沿岸生態系がブルーカーボン (Blue Carbon) としてCO<sub>2</sub> の重要な吸収源になる。このようなマングローブ林の役割は、地球規模の環境問題への対処策として大きく期待されている。

しかしながら、マングローブは過去数十年にわたり、地域の生活資源 (薪材、炭材、建材、魚介類の食料等) や産業用地 (工場やエビ養殖池等) の開発で広範囲に伐採され、東南アジア各地の沿岸域では半減した。世界最大のマングローブ保有国のインドネシアでは200万haのマングローブ林が伐採され、現在は250万haが残る状況となっている。

近年、沿岸生態系の修復及び再生を目的にマングローブが植林され、一部の地域では回復傾向にある。再生林が広がる一方、そのほとんどは管理されないで放置されている問題がある。このような放置再生林では過密な生育間隔 (1.0~1.5 m) が林内の光競合をもたらし、成長阻害の一因となっている。不健全な立木群ではマングローブに期待される様々な生態学的役割を十分に果たすことができない。マングローブ再生林の健全な育成は熱帯沿岸生態系の重要な課題であり、それを解決するための森林管理が不可欠となっている。

## 2. 研究の目的

本研究は、(1) マングローブ再生林の炭素固定能を評価するCO<sub>2</sub> 固定予測モデルの確立、(2) 間伐による個体数管理の影響解明、間伐によるマングローブ再生林の健全な育成やCO<sub>2</sub> 固定の効率化等を図る森林管理モデルの作成、(3) 沿岸生態系への有機炭素供給力を評価できる手法の開発、を通しての研究からマングローブ再生林の生態学的な役割の定量評価を目的として実施した。

以上の調査から、熱帯雨林を凌ぐマングローブの炭素固定能を利用した地球温暖化対策を実現する基本的手段を確立し、また再生林の育成と地域資源の持続的且つ効率的な利用を目的に森林管理モデルの開発を目指した。さらに、マングローブ再生林が持つ高い炭素固定能と生態学的な役割を統合し、植林による植生の回復及び沿岸生態系の修復と再生から地球温暖化対策及び生物多様性の確保へ貢献することを目的に実施した。

## 3. 研究の方法

本研究の最も重要な課題は、マングローブ植林地で間伐処理を行い、その効果を検証することである。

初年度 (H24) はインドネシア・リアウ州スンガイアサム (00°42'S, 103°18'E) にある *Rhizophora apiculata* 植林群落を調査した。対象とした群落は、H19-20 年度に JSPS の二国間交流事業で調査した当時 1~5 年齢だった林が 5 年経過し、6~10 年齢の 5 種樹齢に達したもので、6、7、8、9、10 年齢のそれぞれについて 5x5m の調査区を設置した。しかし、間伐処理の実施について地元の理解が得られず、生育密度、DBH (Diameter at Breast Height; 胸高直径)、生産構造図の調査から、成長に伴う立木バイオマス量の変化から 5 年間のバイオマス量及び炭素固定能の変化を調査し、生長予測モデルの検証を行った。

2・3 年目 (H25-26) はインドネシア・ランブ州東部マルガサリ (05°35' S, 105°48' E) にある 20 年齢 *Rhizophora mucronata* 再生林を調査した。対象とした再生林について、ランブ州大学とマルガサリ地区の同意を得ることができ、2 種類の間伐区を設置し、キャノピー光合成を評価するタワーを建設した。林内に間伐区 (目安として残存個体数が全体の 1/4; A 区、1/2; B 区) と対照区 (間伐なし; C 区) の円形プロット (半径 7m) を各 3 反復、設置した。プロット内の立木個体数と DBH (胸高直径) を調査した。林内への光透過率は、各プロット内の林床 5 か所で測定した光強度の平均値と同時測定した林外の光強度を比較して求めた。間伐試験は 2013 年 9 月に行い、処理後 1 年が経過した 2014 年 8 月に追跡調査し、立木本数や群落構造、光環境の変化を調査した。さらに間伐材を定量評価し、地域木材資源としての経済価値を評価した。

## 4. 研究成果

### スンガイアサムの結果

6、7、8、9、10 年齢の立木群の平均樹高はそれぞれ 10.8、12.4、13.7、14.3、14.2 m で、8 年以降の伸長が小さかった。DBH はそれぞれ 5.18、7.81、8.51、9.10、10.0 cm と成長に応じて増加したが、樹高と同様に 8 年以降の増大は小さかった。生育密度は 38、16、14、13、12 本/25 m<sup>2</sup> であり、1ha 当たりでは 15,200、6,400、5,700、5,200、4,800 本/ha となった。植林後に間伐などの管理が全く行われておらず、再生林が非常に過密な状態にあり、自然枯死によって生育本数が減少している現状が明らかになった。

本研究で調査した 6、8、10 年齢と過去に同地で調査した 1~5 年齢群落の生産構造図を合わせると、樹齢とともに、樹高、同化器官(葉と葉の芽)及び非同化器官(幹と枝)とも大きく増加していることが明らかになった(図 1)。

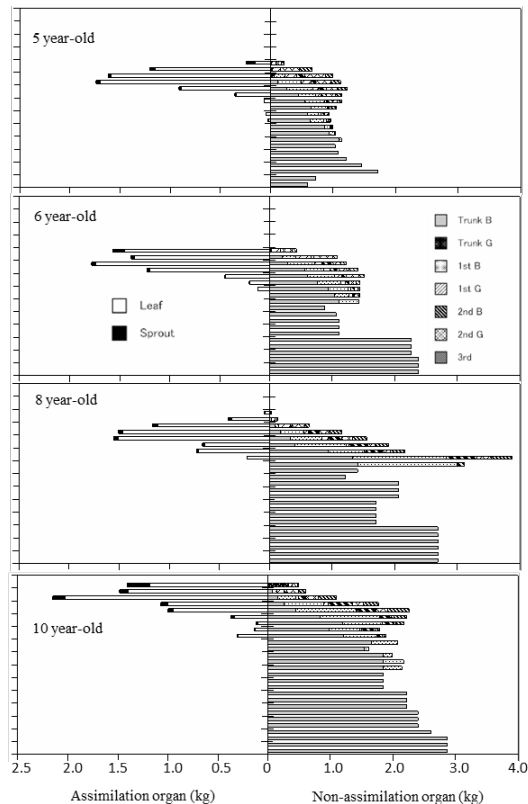


図 1. スンガイアサムにある 5, 6, 8, 10 年齢 *R. apiculata* 再生林の生産構造図。

6、8、10 年齢の立木バイオマス量は、それぞれ地上部で 30.7、62.0、74.8 kg/本、根は 17.5、16.4、15.4 kg/本で、1ha 当たり 732、439、433 ton/ha と評価され、6 年齢が 8 年齢及び 10 年齢よりも約 70%大きかった。T/R 比はそれぞれ 1.76、3.78、4.85 と算出され、立木成長に合わせて値が増加した。

6 種樹齢の立木バイオマス量を用いて作成した生長曲線から、最大現存量は地上部で 82 kg/本、根で 21 kg/本、立木全体で 95 kg/本になると推定された(図 2)。10 年齢以降は生長が停滞し、生長曲線の微分値で求めた年間のバイオマス蓄積量は、6~8 年齢に最も大きくなった。単立木当たりの年間のバイオマス蓄積量は、地上部が 2.18~18.9 kg/本/年、根が 0.87~2.71 kg/本/年、立木全体では 2.97~24.3 kg/本/年と評価された。

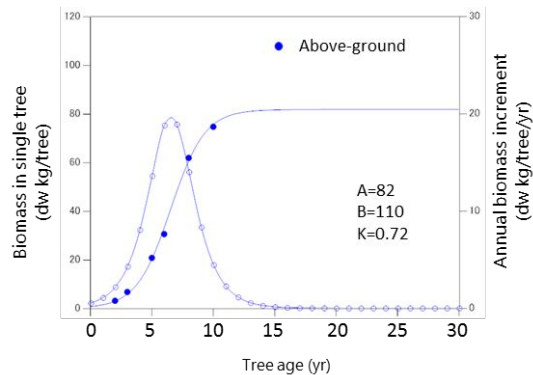


図 2. スンガイアサムに生育する 2, 3, 5, 6, 8, 10 年齢の *R. apiculata* 再生立木の地上部バイオマス量と生長曲線を用いたバイオマス量の変化予測。図中の A、B、K は生長曲線;  $Y=A/(1+B \cdot \exp^{-K \cdot t})$  のパラメーターである。A は最大バイオマス量の仮定値、 $B=(A-Y_0)/Y_0$ 、 $Y_0$  は立木バイオマス量の初期値、 $t$  は樹齢、K は生長係数である。

## ランプンの結果

20 年齢再生林の立木個体数は 5,500 本/ha となり、立木間隔は 1.35 m に相当する。DBH 平均値は 7.90 cm と小さく、立木バイオマス量は 163 t/ha (C, 44.4 t/ha) と評価された。林内光透過率は 2.24% と小さかった。これらより再生林の現状は過密な生育条件下で林内の光透過が悪い過密な個体群となっていることが確認された。

間伐後、個体数は A 及び B 区で 2,555 及び 3,053 本/ha に減少し、生育間隔は 2.0 m 及び 1.8 m に広がった(表 1)。光透過率はそれぞれ 18.6% 及び 15.2% に増加した(図 3)。これは間伐で得たキャノピーギャップから林内に太陽光が入射し、群落内の光環境が改善されたことを示している。一方、間伐から 1 年が経過した時点で再測定した光透過率は、間伐区でも 4.2~5.4% と対照区の 3.2% と同様な状態へ低下した。これは間伐後のキャノピーギャップに枝葉が伸長して群落構造が変化したことを示している(図 4)。

表 1. 間伐処理区 (A 及び B 区) と対照区 (C 区) における 20 年齢 *R. mucronata* 再生立木群の生育密度、生育間隔、立木バイオマス量。

	Trees (trees ha <sup>-1</sup> )	Thinned ratio (%)	Intervals (m)	Tree biomass (Mg ha <sup>-1</sup> )
A	2,555	54.5	2.00	101
B	3,053	41.7	1.80	139
C	5,500	0	1.35	163

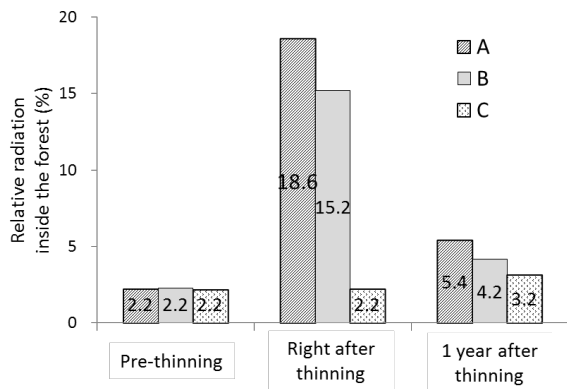


図 3 . 間伐前後における群落内の相対照度 (%) の変化。

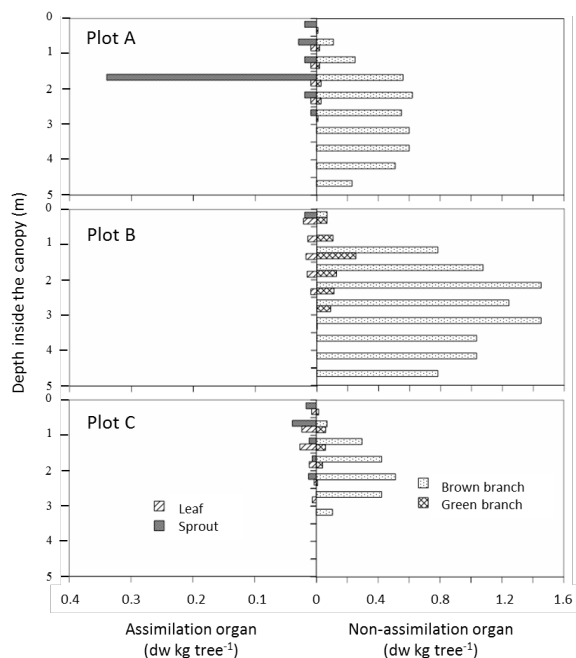


図 4 . 間伐後 1 年で調査した各調査区の群落構造。

間伐前はほとんど林床に実生が見られなかったが、間伐経過 1 年後は  $10^4/\text{ha}$  を超す実生が観察された。間伐によるキャノピーギャップで日射光が増加したためと考えられる (図 3)。立木個体数は自然枯死の影響で減少し、その割合は A、B、C 区でそれぞれ 2.46、4.96、10.3% であった。間伐しない対照区 (C 区) で自然枯死した立木数が最も多かった。

間伐試験で得られた木材の容積は A 及び B 区でそれぞれ  $65.4$  及び  $25.2 \text{ m}^3/\text{ha}$  で、地域の市場価格から 200-500 USD/ha の経済価値になると試算された。

再生林の炭素吸収固定能の定量評価の基本となる個葉の光合成速度 (P) を、各プロットのキャノピー上層にある個葉で携帯型

光合成測定装置 (LI-6400) を用いて測定した。最大光合成速度 ( $P_{\text{max}}$ ) は  $14.1 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  であり、30 前後に最適温度となる傾向が観察された (図 5)。葉温 30 以下で、A 区は他 2 区よりも小さくなる傾向が観察され、これは間伐後に熱帯域の強光ストレスにさらされた事が影響しているのかもしれない。

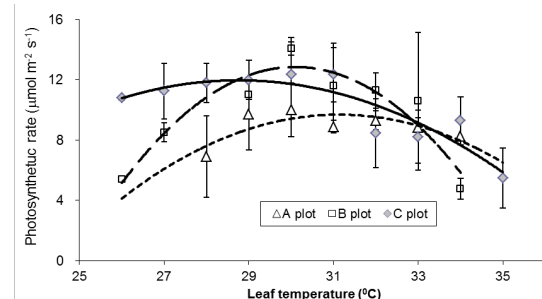


図 5 . 3 つの調査区で測定した個葉光合成速度の温度反応。

### 密度効果のモデル試験について

ヒマワリを用いた総乾物生産量に対する間引きの効果を検討した試験において、生育期間を通して  $60 \text{ cm}$  密度で育成した区 ( $271\text{g}/\text{m}^2$ ) に対し、 $30 \text{ cm}$  密度で植付け、その後  $60 \text{ cm}$  密度へ間引きした区で総乾物量は  $282\text{g}/\text{m}^2$  と増大する間引きの効果が確認された。

本研究では、間伐によるキャノピー構造及び光環境の変化を明らかにし、間伐がマングローブ個体の生長に及ぼす効果を DBH の変化から検証した。また、再生林の  $\text{CO}_2$  固定モデルに関わる光合成及び呼吸 (ここでは示していない) に関する基礎データを求め、群落単位の  $\text{CO}_2$  収支をモデル計算できるデータを収集できた。キャノピー構造や群落内光環境の変化は、群落の光合成量や生産性に大きく影響する。さらに、マングローブ林の管理に対する地域住民や機関の考えについても直接知ることができ、熱帯地域で健全なマングローブ植林管理に不断の啓蒙活動や正確な情報提供が重要であることも明らかになった。同時に、間伐によって得られる材積についても具体的な数値を得ることができ、その経済効果についても検討を加えることができた。今後の、間伐を用いた再生林の健全な育成と得られる間伐材の有効利用を組み合わせ、東南アジア各地で行われる植林活動に広く応用できる森林管理モデルの確立を目指す。

### 5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計6件)

Ulqodry TZ, Matsumoto F, Okimoto Y, Nose A, Zheng SH. 2014. Study on photosynthetic responses and chlorophyll fluorescence in *Rhizophora mucronata* seedlings under shade regimes. Acta Physiol Plant, 36: 1903-1917. (査読有)

Munandar, Sarno, Suwignyo RA, Okimoto Y, Nose A. 2014. Growth evaluation of rehabilitated mangroves in Indonesia with special emphasis on relationship with soil and hydrological conditions. Journal of Agricultural Economics, Extension and Rural Development, 1(8): 128-137. (査読有)

Okimoto Y, Nose A, Oshima O, Tateda Y, Ishii T. 2013. A case study for an estimation of carbon fixation capacity in the mangrove plantation of *Rhizophora apiculata* trees in Trat, Thailand. Forest Ecology and Management, 310: 1016-1026. (査読有)

Okimoto Y, Nose A, Murdiyarso D, Kustanti A, Suwignyo RA, Sasmito SD and Tateda Y. Thinning of the abandoned trees of mangrove rehabilitation: perspectives on sustainable use and conservation (投稿中). (査読有)

Okimoto Y, Nose A, Swignyo RA, Ulqodry TZ, Oba Y, Tateda Y. 2013. Estimation of CO<sub>2</sub> fixation capacity and growth potential on mangrove forest in South East Asia. Mainstreaming Mangroves Proceedings of Regional Symposium on Mangrove Ecosystem Management in South East Asia: 46-52.

(査読無)

Okimoto Y, Nose A, Murdiyarso D, Purbopuspito J, Sasmito SD. 2013. Thinning practice in rehabilitated mangroves: opportunity to synergize climate change mitigation and adaptation. Proceedings of the 7th International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC2013): 964-968. (査読無)

〔学会発表〕(計7件)

沖元洋介、野瀬昭博、鄭紹輝、Tengku Zia Ulqodry、有田隆史、柿本望、Asihing Kustanti、Melya Riniarti、Rara Diantari. マングローブ再生林の間伐による育成と地域の再生可能資源としての有効利用を目指した森林管理モデルの作成に関する研究. 日本マングローブ学会、2014年11月22日、東京農業大学(東京都).

Okimoto Y, A. Nose, R.A. Swignyo, T.Z. Ulqodry, Y. Oba and Y. Tateda. 2013. Estimation of CO<sub>2</sub> fixation capacity and growth potential on mangrove forest in South East Asia. Mangrove Ecosystem Conservation and Sustainable use in the ASEAN Region (MECS Project), Abstract book. Surabaya, Indonesia.

Y. Okimoto, Nose A, Oshima K, Tateda Y and Murdiyarso D. 2013. Dissolved organic carbon supply to the coastal ecosystems: Ecological roles of rehabilitated mangrove. Mangrove Ecosystem Conservation and Sustainable use in the ASEAN Region (MECS Project), Surabaya, Indonesia.

Y. Okimoto, A. Nose, D. Murdiyarso, J. Purbopuspito and S.D. Sasmito. 2013.

Thinning practices in rehabilitated mangroves: opportunity to synergize climate change mitigation and adaptation. The 7th International Conference on Asia and Pacific Coasts, Bali, Indonesia.

Okimoto Y., A. Nose, D. Murdiyarso, A. Kustanti, R.A. Suwignyo, S.D. Sasmito, Y. Tateda. 2014. Study on sustainable development of coastal communities by thinning practices of the rehabilitated mangrove trees. International Symposium on Agricultural Meteorology 2014 (ISAM2014).

Okimoto Y., A. Nose, D. Murdiyarso, A. Kustanti, R.A. Suwignyo, S.D. Sasmito and Y. Tateda. 2014. Unused woody resources in the coastal community, obtained from thinning practices of the rehabilitated mangrove trees in the tropical area. Restoring Coastal Livelihoods: "Increasing the Resilience of Mangrove-Aquaculture Socio-Ecological Systems in Southeast Asia", Regional Conference. Bogor, Indonesia.

Sasmito S.D., Y. Okimoto, R. Diantani, A. Kustanti, D. Murdiyarso. 2014. The contribution of rehabilitated mangroves C stocks in Indonesian coastal wetlands carbon sequestration estimation. The 3rd Regional Conference of the Society for Conservation Biology - Asia section. Melaka, Malaysia.

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕

ホームページ等

佐賀大学 農学部 生物資源開発学講座 熱帯作物改良学分野

<http://www.ag.saga-u.ac.jp/japanese/nessaku/nessaku.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

野瀬昭博 (NOSE, Akihiro)

佐賀大学・農学部・教授(現、名誉教授)

研究者番号: 80045137

(2) 研究分担者

鄭紹輝 (ZHENG, Shao-hui)

佐賀大学・農学部・教授

研究者番号: 90253517

沖元洋介 (OKIMOTO, Yosuke)

佐賀大学・農学部・特定研究員(現、北海道大学大学院農学研究院・博士研究員)

研究者番号: 70598812

(3) 連携研究者

なし

研究者番号: