

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：13701

研究種目：基盤研究(B) (海外学術調査)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H05240

研究課題名(和文) タイ王国トラート川河口マングローブ林における土壌生態学的研究

研究課題名(英文) Dynamics of soil organic carbon in a mangrove forest on an estuary of Trat River, eastern Thailand

研究代表者

大塚 俊之(OHTSUKA, Toshiyuki)

岐阜大学・流域圏科学研究センター・教授

研究者番号：90272351

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,100,000円

研究成果の概要(和文)：タイ王国・トラート川河口のマングローブ林を対象として土壌炭素の定量と、その動態について調査を行った。3.5 m 深度までの土壌炭素量は 926～1041 トン C / ha と推定され、植物バイオマスの5倍以上の炭素が土壌中に蓄積していた。また河川中の溶存無機炭素について、炭素安定同位体比を用いてマングローブ林由来の炭素寄与率を推定すると、最大で15%に達した。従来マングローブ林での堆積物の分解呼吸量は小さいと考えられていたが、実際には、その多くが無機炭素として水に溶けて流出していることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：To estimate soil organic carbon (SOC) storage and dynamics in mangrove forests of Trat River in eastern Thailand, we inventoried SOC pools in 0- 3.5 m soil profiles and daily changes of DIC (dissolved inorganic carbon) and ^{13}C -DIC in the water of Trat River. SOC pools in the mangroves were ranged from 926 to 1041 Mg C / ha, which have more than 5 times carbon compared to plant biomass. The relative contribution of mangrove-derived DIC in the water reached up to 15%, based on the isotopic mass balance model. CO_2 efflux from the soil surface by the decomposition of SOC should have low compared to upland forests under submerged soil in mangroves, however, our results suggested that DIC makes a significant contribution to the total carbon export from mangrove ecosystems.

研究分野：生態系生態学

キーワード：土壌圏炭素 マングローブ 溶存無機炭素 タイ王国 炭素循環 炭素安定同位体比

1. 研究開始当初の背景

マングローブとは、熱帯・亜熱帯地域の河口のように潮汐の影響を受ける立地に生育する特異な植物群である。地球上の森林の中でマングローブ林(特にその土壌圏炭素 [SOC] プール)は最も Carbon-rich な生態系であり、地球温暖化問題を背景にして注目が集まっている。巨大な炭素貯留量を持つマングローブ林の保全そのものが、CO₂ 放出量削減のための潜在的な低コストオプションとみなされ、その炭素循環の解明が重要である。現在までの研究では、熱帯環境での大きな純一次生産量 (NPP) と嫌氣的土壌での小さな従属栄養生物呼吸量 (HR) のために、マングローブ林は非常に大きな生態系純生産量 (NEP) を持つと考えられてきた (Poungpam et al. 2012)。しかしながら、マングローブ生態系内での溶存無機炭素 (DIC) 生成やその動態など、水を介した流出プロセスに関する情報は限られており、NEP の評価には不確実性が残されている。

2. 研究の目的

本研究では東南アジアのマングローブ林の土壌圏炭素とその動態を明らかにするため、カンボジアとの国境からタイ王国の南東端に流れるトラート川河口域に分布するマングローブ林を対象とした。この地域のマングローブ二次林 (12°12'N, 120°33'E) では永久方形区が設置され、炭素循環に関する様々な生態学的調査がチュラロンコン大学のチームによって実施されている (Poungpam et al. 2009, 2012)。川岸から内陸部に向かって4つの植生帯 (*Sonneratia-Avicennia*, *Avicennia*, *Rhizophora*, *Xylocarpus* zones) に分類され、それぞれの地上部バイオマスは乾燥重量ベースで 189.3 ton ha⁻¹, 156.8 ton ha⁻¹, 257.7 ton ha⁻¹, 222.1 ton ha⁻¹であった (Umnousin et al. 2012)。本研究の目的は、(1)この二次林においてまだ調査が行われていない SOC プールの定量的評価を行うと共に、(2)トラート川

河川水中の DIC 濃度と ¹³C-DIC の解析から、水系を介した DIC 流出の可能性について検討した。

3. 研究の方法

チュラロンコン大学の永久方形区内における、川岸の *Sonneratia-Avicennia* 帯を除く三つの植生帯を対象として、2017年9月に50cmのピートサンプラーを用いて深さ3.5mまでの土壌をサンプリングした。サンプリング後、50cm毎の土壌を混合して細根を除去し、風乾細土として調整した後に、C/Nアナライザーを用いて、炭素と窒素含有率を測定した。また別途土壌コアを用いて各深度の仮比重 (g cm⁻³) を測定した。

2016年の7月の雨季と2017年2月の乾季において、トラート川の源流から河口まで水試料を採取(7月29地点、2月12地点)すると共に、マングローブ域にあるDMCRセンター内で、24時間に渡って1時間毎に水試料の連続サンプリングを行った。さらに永久方形区内と方形区横の支流で水試料を採取(2月)した。サンプリングした水について、水温、pH、塩分濃度、DIC濃度を現地で測定し、さらに質量分析計(IRMS, Delta plus Advantage)を用いて、d¹³C-DICを測定した。

4. 研究成果

三つの植生帯の中で、*Rhizophora* 帯と *Xylocarpus* 帯では、*Avicennia* 帯に比べて土壌表層50cmでの炭素含有率(9.2 - 12.5%)と窒素含有率(0.36 - 0.42%)が非常に高くなり、C/N比も25以上と大きくなった。これは二つのゾーンでは表層に細根がマット状に存在してピート土壌の形態を示し、生根の完全な除去が難しい事が一つの原因である。またすべての植生帯において、深い深度でも高い炭素濃度が維持される(3.5m深度で1.5%以上)という特徴があった。

深度別の仮比重と炭素含有率から、この地域のマングローブ二次林のSOCプール量に

ついて推定した (図 1)。

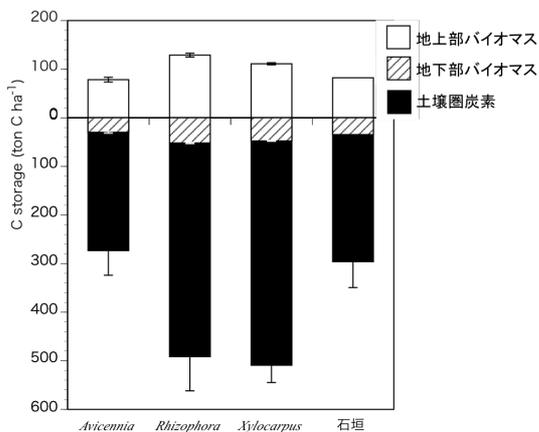


図 1 . トラート川河口の三つの植生帯と、石垣島吹通川河口のマングローブ林におけるバイオマスと、深度 1 m までの土壌炭素のプールの比較

石垣島吹通川河口のマングローブ林との比較のために深度 1 m までの SOC と、バイオマスを含む全炭素プール量は石垣島: 378 ton C ha⁻¹, *Avicennia* 帯: 352 ton C ha⁻¹, *Rhizophora* 帯: 621 ton C ha⁻¹, *Xylocarpus* 帯: 620 ton C ha⁻¹ と推定され、*Rhizophora* 帯と *Xylocarpus* 帯で特に大きな値となった (図 1)。一方で、トラート川河口のマングローブ林において深さ 3.5 m までの全ての SOC プールを推定すると *Avicennia* 帯; 926 ton C ha⁻¹, *Rhizophora* 帯; 1033 ton C ha⁻¹, *Xylocarpus* 帯; 1041 ton C ha⁻¹ と推定され、植生帯ごとの差は小さかった。このように熱帯地域のマングローブ林ではバイオマスの 5 倍以上の莫大な炭素が土壌中に存在することが確認された。

マングローブ域であるトラート川河口での水特性の日変動について雨季と乾季で比較した。雨季には、潮位変動にかかわらず塩分濃度は 0.05% 以下でほとんど変化しなかった (図 2)。また pH は 6.5 程度の弱酸性を示した。このことは、雨季 (2016 年 7 月) には流域からの河川水の供給が大きく、潮位変動にもかかわらず河口付近でも淡水が常に優占している事を意味している。一方で乾季

(2017 年 2 月) には、雨季に比べて塩分濃度は高く、さらに満潮時に高くなるような傾向が認められた。また pH についても、雨季に比べるアルカリ性側に傾いており (図 2)、潮位変動による海水の混入が認められた。

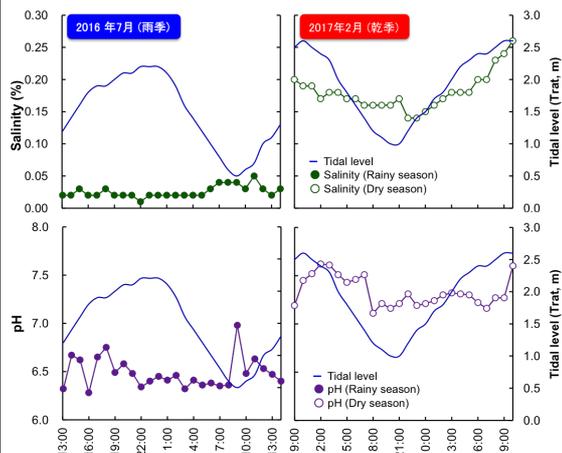


図 2 . トラート川河口における、連続測定による塩分濃度と pH の日変化。雨季と乾季の 2 回、1 時間毎に河川水をサンプリングした。

DIC 濃度を見ると、雨季には低く (0.45 – 0.59 mmol C L⁻¹) 変動も小さかったが、干潮時にはわずかな上昇が認められた (図 3)。雨季の $\delta^{13}\text{C-DIC}$ の潮位変動にともなう変化は明確で無いが、その値は -17.8 ~ -19.6‰ と低かった。乾季においても、雨季と同様に DIC 濃度の変動は小さかったが、雨季に比べて濃度 (1.5~2.2 mmol C L⁻¹) は三倍以上高くなり (図 3) 海水の寄与によると考えられた。 $\delta^{13}\text{C-DIC}$ の値は -3.9 ~ -7.9‰ で、雨季に比べて高い値となった。また $\delta^{13}\text{C-DIC}$ の値は潮位に同調して明確に変動し、干潮の時に低くなる傾向が認められた。これらの結果から、石垣島と比べて、タイでは水特性と DIC 濃度の日変動は小さいが、海水の寄与率と DIC 濃度は雨季と乾季で有意に異なり、明確な季節変動が見られることが明らかとなった。

水中の DIC の中で、マングローブ由来の

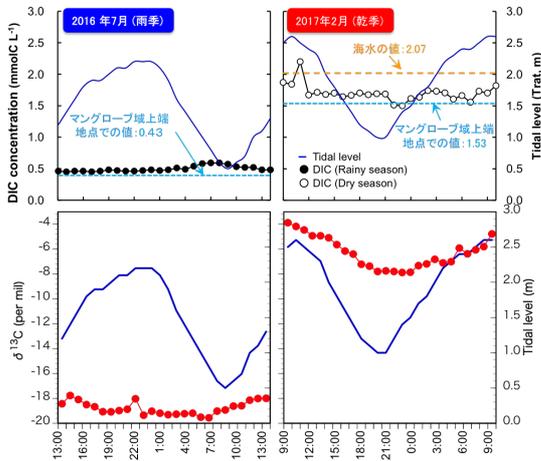


図3. トラート川河口における、連続測定による溶存無機炭素 (DIC) と ^{13}C -DIC の日変化。雨季と乾季の2回、1時間毎に河川水をサンプリングした。

DIC を分離することがマングローブから海への DIC 輸送の重要性を評価するために必要である。DIC 濃度は基本的には河川水と海水の混合によって決定していると考えられるが、特にマングローブ林周辺の $\delta^{13}\text{C}$ -DIC は、両者の単純混合から期待される値より大幅に低く、満潮時に林内で DIC が付加されると考えられた。DIC 濃度の逆数 ($1/\text{DIC}$) と $\delta^{13}\text{C}$ -DIC との相関からみると、林内で付加された炭素は -21.8‰ と推定され (図4)、調査地周辺のマングローブ植物に近い値であった。

河川水中の海水の混合割合 (f_{sw}) を塩分濃度 (S) から計算することにより、マングローブを起源とする炭素成分の寄与率 ($[\text{DIC}]_{\text{Bio}}$) は、DIC 濃度 ($[\text{DIC}]$) および安定同位体を使った以下のマスバランスモデルによって計算できる。

$$f_{\text{sw}} = (S_{\text{sw}} - S_{\text{R}}) / (S_{\text{obs}} - S_{\text{R}}),$$

$$[\text{DIC}]_{\text{CM}} = f_{\text{sw}} * [\text{DIC}]_{\text{sw}} + (1 - f_{\text{sw}}) * [\text{DIC}]_{\text{R}},$$

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{CM}} * [\text{DIC}]_{\text{CM}} = f_{\text{sw}} * [\text{DIC}]_{\text{sw}} * \delta^{13}\text{C}_{\text{sw}} + (1 - f_{\text{sw}}) * [\text{DIC}]_{\text{R}} * \delta^{13}\text{C}_{\text{R}},$$

$$\delta^{13}\text{C}_{\text{obs}} * [\text{DIC}]_{\text{obs}} = [\text{DIC}]_{\text{CM}} * \delta^{13}\text{C}_{\text{CM}} + [\text{DIC}]_{\text{BIO}} * \delta^{13}\text{C}_{\text{BIO}},$$

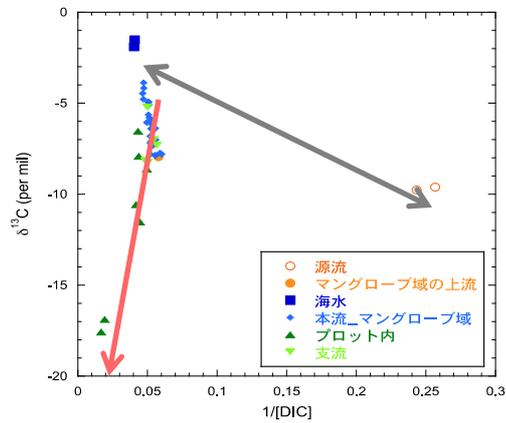


図4. 2017年2月の乾季に採取した水試料における、DIC 濃度の逆数 ($1/\text{DIC}$) と、その ^{13}C -DIC との関係

下付文字の CM, SW, R, obs および BIO は、計算から求められる理論値と、海水、源流、河川水の観測値、およびマングローブ起源の炭素を表す。乾季のマングローブ域で採取した河川水について、このモデルを用いて計算すると、河川水中の全 DIC の中でマングローブ林を起源とする炭素成分の寄与率は 1~15% と推定された。また、マングローブ林内では 12~56% と高い値になった。このことは、マングローブ由来の堆積物の分解による CO_2 が DIC として水に溶けて海に流出していることを意味する。

このマングローブ林では、堆積物の分解による HR が通常の森林生態系に比べて低い ($1.72 \sim 2.63 \text{ ton C ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$) ために、生態系の炭素吸収量である NEP が非常に高くなることが報告されている (Poungpam et al. 2012)。しかし、チャンバーを用いた HR の測定法 (Poungpam et al. 2009) は、土壌表面からの CO_2 フラックスしか測定することが出来ないために、HR が過小評価となっている可能性がある。今後河口での流量データを用いて DIC 流出量の定量的な評価を行うことによって、マングローブ林の正確な炭素収支の推定が必要である。

< 引用文献 >

Poungparn et al. (2009) *Journal of Tropical Ecology* 25: 393-400
Poungparn et al. (2012) *Journal of Tropical Ecology* 28: 303-306
Umnouysin et al. (2017) *Ecological Research* 32 : 51-60

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 6 件) 全て査読有り

Kida M, Fujitake N, Suchewaboripont V, Poungparn S, Tomotsune M, Kondo M, Yoshitake S, Iimura Y, Kinjo K, Maknual C, Ohtsuka T (2018) Contribution of humic substances to dissolved organic matter optical properties and iron mobilization. *Aquatic Sciences* **80**, 26: [https://doi.org/ 10.1007/s00027-018-0578-z](https://doi.org/10.1007/s00027-018-0578-z)

友常満利・鈴木庸平・大塚俊之・吉竹晋平・墨野倉伸彦・新海恒・小泉博 (2017) マングローブ林における自動開閉チャンバー法を用いた干出・冠水土壤からの炭素放出の測定. *日本生態学会誌* **67**, 75-83 https://doi.org/10.18960/seitai.67.2_75

木田森丸・金城和俊・大塚俊之・藤嶽暢英 (2017) 石垣島吹通川マングローブ林流域における溶存有機物の動態. *日本生態学会誌* **67**, 85-93; https://doi.org/10.18960/seitai.67.2_85

Kida M, Tomotsune M, Iimura Y, Kinjo K, Ohtsuka T, Fujitake N (2017) High salinity leads to accumulation of soil organic carbon in mangrove soil. *Chemosphere* **177**, 51-55; <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.02.074>

Chen S, Yoshitake S, Iimura Y, Asai C, Ohtsuka T (2017) Dissolved organic carbon (DOC) input to the soil: DOC fluxes and their partitions during the growing season in a cool-temperate broad-leaved deciduous forest, central Japan. *Ecological Research* **32**, 713-724; [10.1007/s11284-017-1488-6](https://doi.org/10.1007/s11284-017-1488-6)

Kida M, Ohtsuka T, Kato T, Suzuki T,

Fujitake N (2016) Evaluation of salinity effect on quantitative analysis of aquatic humic substances using nonionic DAX-8 resin. *Chemosphere* **146**, 129-132; DOI: [10.1016/j.chemosphere.2015.12.031](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.12.031)

〔学会発表〕(計 13 件)

大塚俊之, 荒井秀, 友常満利, 吉竹晋平, 大西健夫, 藤嶽暢英, 木田森丸, 近藤美由紀, 飯村康夫, 金城和俊 (2018) 「マングローブの生態系純生産量 (NEP) は本当に大きいのか?」 第 65 回日本生態学会, 3 月(札幌)

近藤美由紀, 高橋浩, 吉竹晋平, 木田森丸, 藤嶽暢英, Poungparn S, Suchewaboripont V, 大塚俊之 (2018) 「タイ王国トラート川流域マングローブ林における溶存無機炭素の日変動: 雨季と乾季における観測事例」 第 65 回日本生態学会, 3 月(札幌)

友常満利, 荒井秀, 金城和俊, 大西健夫, 小泉博, 大塚俊之 (2018) 「無人航空機によるマングローブ林の森林構造の検出 ~ ドローンを用いた八重山諸島の森林動態の解明に向けて ~ 」 第 65 回日本生態学会, 3 月(札幌)

荒井秀・友常満利・吉竹晋平・大西健夫・岡田美幸・大塚俊之 (2017) 「石垣島吹通川マングローブ林の微生物呼吸量の推定」 日本生態学会中部地区会, 12 月 (新潟)

近藤美由紀, 高橋浩, 吉竹晋平, 友常満利, 金城和俊, 大塚俊之 (2017) 「石垣島吹通川マングローブ林の水系を介した炭素流失: 溶存炭酸の濃度と炭素同位体による解析」 第 64 回日本生態学会, 3 月 (早稲田大学)

友常満利・中野凌祐・南埜幸也・吉竹晋平・藤嶽暢英・大塚俊之 (2017) 「石垣島吹通川流域のマングローブ林における土壌呼吸速度の時空間変動」 第 64 回日本生態学会, 3 月(早稲田大学)

- 中野凌祐・南埜幸也・田邊舞・大塚俊之・藤嶽暢英・友常満利 (2017) 「亜熱帯マングローブ林における粗大有機物の分解速度と環境要因の関係」第 64 回日本生態学, 3 月 (早稲田大学)
- 荒井秀・大塚俊之 (2016) 「マングローブにおける葉の被食量の推定」日本生態学会中部地区会, 12 月 (三重大学)
- Zheng S, Yoshitake S, Tomotune M, Kondo M, Onishi T, Ohtsuka T (2016) “Diurnal variation of dissolved inorganic carbon (DIC) with tidal cycling in a mangrove forest in Ishigaki Island, southern Japan” 日本生態学会中部地区会, 12 月 (三重大学)
- 木田森丸, Pongpam S, 大塚俊之, 藤嶽暢英 (2016) 「フミン物質分別定量法および光学的手法を用いた溶存有機物の特性評価～タイ王国トラート川における事例～」日本陸水学会第 81 回大会, 11 月 (琉球大学)
- ⑪ 金城和俊・勝部尚隆・大塚俊之 (2016) 「マングローブ林内河川水中の植物プランクトン増殖に影響を与える林内土壌由来の栄養塩」日本土壌肥料学会, 9 月 (佐賀大学)
- ⑫ 木田森丸, 田邊舞, 友常満利, 飯村康夫, 金城和俊, 近藤美由紀, Pongpam S, 大塚俊之, 藤嶽暢英 (2016) 「マングローブ林土壌への海水塩によるフミン酸の選択的蓄積」日本土壌肥料学会, 9 月 (佐賀大学)
- ⑬ Kida M, Sato H, Ohtsuka T, Kawahigashi M, Hirota M, Nakatsubo T, Oyuntsetseg B, Khakhinov VV, Pongpam S, Fujitake N (2016) “Quantification of aquatic humic substances in diverse river systems and their relationships with some trace metals and optical indices”, 18th International Conference of International Humic Substances Society, 9 月 (Kanazawa)
- [図書](計 3 件)
- 大塚俊之 (2018) 第 10 章 生態系. 「新しい生物学」弥益恭・中尾啓子・野口航(編), pp.128-140, 培風館
- Ohtsuka T, Saigusa N, Iimura Y, 他 2 名 (2016) Biometric- Based Estimations of Net Primary Production (NPP) in Forest Ecosystems. (Ed. by Hikosaka K, et al.) *Canopy Photosynthesis: From Basics to Applications*, pp. 333-351; <http://link.springer.com/book/10.1007/978-94-017-7291-4>
- 大塚俊之 (2016) 土壌呼吸. 「植物学の百科事典」日本植物学会編, pp. 202-203, 丸善
6. 研究組織
- (1) 研究代表者
大塚 俊之 (OHTSUKA, Toshiyuki)
岐阜大学・流域圏科学研究センター・教授
研究者番号: 90272351
- (2) 研究分担者
藤嶽 暢英 (FUJITAKE, Nobuhide)
神戸大学・農学研究科・教授
研究者番号: 50243332
- 金城 和俊 (KINJO, Kazutoshi)
琉球大学・農学部・准教授
研究者番号: 30582035
- 吉竹 晋平 (YOSHITAKE, Shinpei)
岐阜大学・流域圏科学研究センター・助手
研究者番号: 50643649
- 近藤 美由紀 (KONDO, Miyuki)
国立環境研究所・環境計測研究センター・研究員
研究者番号: 30467211
- (3) 連携研究者
内田 昌男 (UCHIDA, Masao)
国立環境研究所・環境計測研究センター・研究員
研究者番号: 50344289
- 飯村 康夫 (IIMURA, Yasuo)
滋賀県立大学・環境科学部・助教
研究者番号: 80599093