

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 7 日現在

機関番号：13701

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12186

研究課題名(和文) マングローブ林のミッシング炭素 - 分解呼吸によるCO₂は何処に行く? -

研究課題名(英文) Missing carbon from mangrove forests through tidal exchange

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) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：マングローブ林の炭素循環を明らかにするために、石垣島吹通川河口で潮位変動に伴うDIC濃度とECの変動を季節的に24時間連続測定した。DIC濃度は水位と負の相関が見られ、満潮時は海水と同程度であったが、干潮時は海水の1.5倍程度に上昇した。流入する河川水のDIC濃度は海水より低く、干潮時のDIC-¹³Cは海水より大きく低下した。これらの結果はマングローブ林の分解呼吸によるCO₂の多くがDICとして溶けて海に流出していることを示す。

研究成果の概要(英文)：To clarify carbon cycling in mangrove ecosystems, we investigated the seasonal and diurnal changes of dissolved inorganic carbon (DIC) concentrations and EC in the river water of Fukido River, Ishigaki Island. DIC concentrations in the mouse of the river had negative correlation with water level; the lowest in high tide (as same as the DIC concentration of sea water) and the highest in low tide (ca. 1.5 times higher than sea water). DIC concentrations of river water that entering mangrove ecosystems from upper streams were much lower than sea water, and DIC-¹³C during low tide was greatly depressed with DIC-¹³C of sea water. As a result, almost all of the CO₂ that is formed by heterotrophic respiration in mangrove soils dissolved in the sea water during tide flow and carried away to the sea from mangrove areas on the ebb tide.

研究分野：生態系生態学

キーワード：溶存無機炭素 マングローブ 従属栄養生物呼吸 潮位変動 土壌圏炭素 石垣島

1. 研究開始当初の背景

森林生態系の炭素循環は、独立栄養生物の純一次生産量 (NPP) と、従属栄養生物の分解呼吸 (RH) によって駆動されており、その差としての生態系純生産量 (NEP) は系内への炭素蓄積速度である。マングローブ林は地球上の森林生態系の中で最も Carbon-rich で、特異的に大きな NEP を持つことが明らかになり、地球温暖化問題を背景として大きな注目が集まっている。

マングローブ林は世界の沿岸域の 0.5% を占めるに過ぎないが、沿岸生態系の炭素蓄積の 10-15%、陸上から海洋への炭素移動の 10% に寄与している。かつて熱帯と亜熱帯の海岸線 20 万 km² に広がっていたマングローブ林は、年間に 1-2% という速度で減少しており、その生態系サービスの消失は沿岸生態系に大きな影響を与える。

マングローブ林における RH は、通常の森林と同様に土壌表面からの CO₂ 代謝 (土壌呼吸) として測定され、冠水による還元的条件下では非常に小さいと考えられてきた。しかしマングローブ林の RH に対して、subsurface pump theory が近年提唱された (Alongi 2014)。これは、マングローブ林では硫酸還元菌などにより深い土壌でも CO₂ 生成が起こること、また動物活動の結果できる穴だらけの土壌からは、潮の干満によってスポンジのように溶液の出入りが繰り返され、RH は溶存無機炭素 (DIC) として流出するというものである。

この理論は、マングローブ林の RH のほとんどが定量されず失われている (ミッシング C) ことを示唆している。さらに、このような RH の過小評価は、マングローブ林の NEP の大きな過大評価を示唆するが、DIC による

ミッシング C を含めた RH を、野外のマングローブ林において定量的に評価した研究例はまだほとんど無い。

2. 研究の目的

石垣島吹通川河口のマングローブ林を対象として subsurface pump theory 理論で示されたミッシング C (潮位変動と共に流出する DIC) を含めたマングローブ林の RH について、野外での定量的評価のための手法を新たに開発することが、本研究の目的である。

3. 研究の方法

マングローブ域の河口 (M) と、河川の複数地点 (F1-F6) において (図 1)、潮位変動に伴う水質の時間的変動を調査した。調査は、2016 年 3 月 8-9 日 (冬季) と 2016 年 8 月 23-24 日 (夏季) において、24 時間に渡って河川水を 1 時間ごとにサンプリングし、pH と電気伝導度 (EC)、DIC 濃度を測定した。また一部のサンプルについては、DIC- $\delta^{13}\text{C}$ の依頼分析を行った。

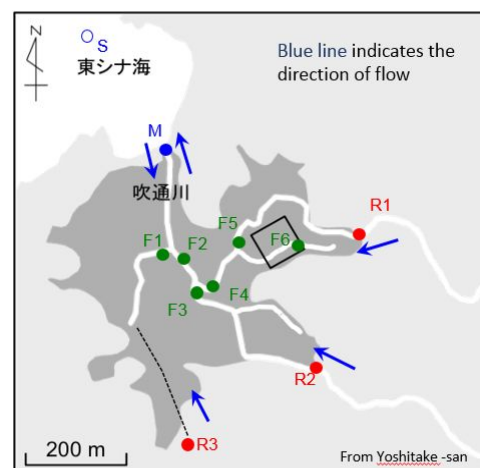


図 1. マングローブ林内及び河口での水のサンプリング地点。マングローブ林内に流入する河川上流部 (R1~R3) と海 (S) でもサンプリングを行った。

4. 研究成果

夏季の河川水中の EC の時間変動を見ると（図 2）、F1～F6 まで全地点で満潮時の EC は海水と同程度になり、図 1 で示したマングローブ域全体に一様に海水が混入していた。干潮時の河川水中の EC は河口では海水より少し低下するだけだが、上流部に行くに従って淡水の混合割合が増加することが明らかとなった。このようにこのマングローブ林では潮位変動に伴い 1 日 2 回海水と淡水が明確に入れ替わっていた。

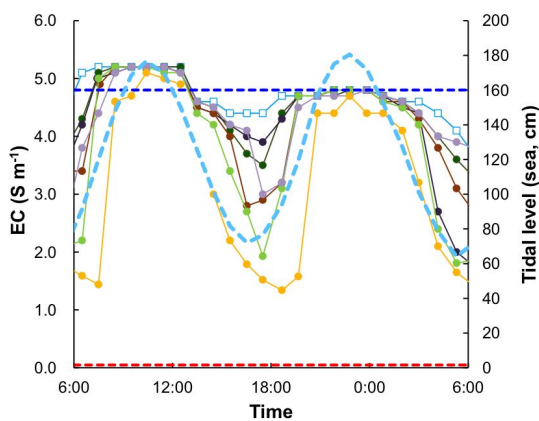


図 2 夏季の各サンプリング地点(□M, ●F1, ●F2, ●F3, ●F4, ●F5, ●F6)での EC の時間変動。青の点線は海水の EC、赤の点線は河川水の EC の平均値を示す。水色の点線は石垣港での潮位変動（水位）を示す。

各地点での潮位に伴う DIC 濃度の日変動をみると、満潮時には海水と同程度であるが、干潮時には、海水 DIC 濃度（約 $2.4 \text{ mmol C L}^{-1}$ ）より大きくなる傾向があった（図 3）。特に F5 や F6 のマングローブ林内の上流部では干潮時の DIC 濃度が高くなった。上流河川の DIC 濃度（約 $1.8 \text{ mmol C L}^{-1}$ ）は海水よりも低く、単純な河川水—海水混合モデルから推定される DIC 濃度より、実測の DIC 濃度が大きいことから、マングローブ域で DIC が水中に付加されることが示唆された。

実測の DIC 濃度と河川水—海水混合モデルから推定される DIC 濃度の差としての、引き潮時にマングローブ林から河川水中に混じる DIC 濃度の推定が可能である（図 4）。

河川流量が少なくマングローブ林が発達する上流部(F5, F6)では、マングローブ由来の DIC 濃度が特に高くなった。マングローブ由来の DIC は、干潮時には河川水中に存在する DIC の 20-30%程度にも達した。

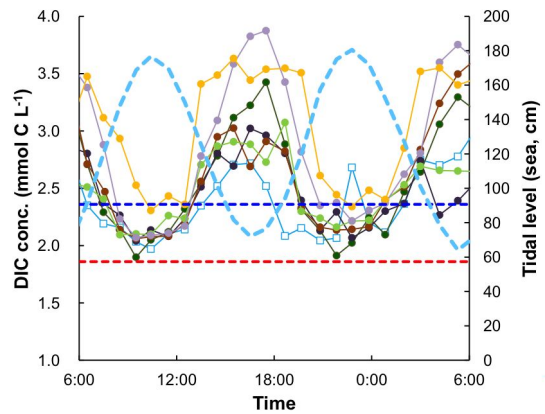


図 3 夏季の各サンプリング地点(□M, ●F1, ●F2, ●F3, ●F4, ●F5, ●F6)での DIC 濃度の時間変動。青の点線は海水の DIC、赤の点線は河川水の DIC の濃度の平均値を示す。

また $\text{DIC-}\delta^{13}\text{C}$ の分析から、満潮時の海水の同位体比 (+1 - +2‰) に比べて干潮時の同位体比は非常に低くなった(-14 - -12‰)。この値は、海水と河川水の混合モデルの期待値よりも低く、この地域のマングローブ林土壌の $\delta^{13}\text{C}$ は $-28\pm 1\text{‰}$ 程度であることから、河川水中の DIC は主にマングローブ域での土壌有機物起源であることが示唆された。

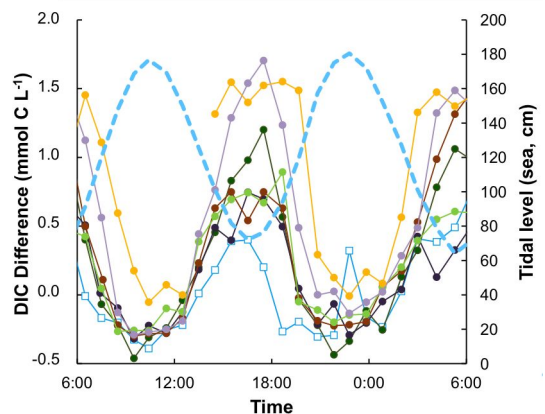


図 4 夏季の各サンプリング地点(□M, ●F1, ●F2, ●F3, ●F4, ●F5, ●F6)でのマングローブ由来の DIC 濃度の時間変動。

これらの結果からマングローブ林では堆積物中の微生物呼吸に由来する土壌呼吸の

多くが CO₂ としてではなく、DIC として海に流出していることが確認された。今後河口での流量データを加えることによって、この研究で用いた方法によって DIC 流出量の定量的な評価が可能になる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 4 件)

1. 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「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 - 土壤圏炭素動態の解明に向けた新たな試み - 」日本生態学会誌、(受理)、査読有
2. 木田森丸、金城和俊、藤嶽暢英「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、(受理)、査読有
3. Kida M, Tomotsune M, Limura Y, Kinjo K, Ohtsuka T, Fujitake N, High salinity leads to accumulation of soil organic carbon in mangrove soil. Chemosphere 177 (2017) 51-55 DOI: 10.1016/j.chemosphere. 2017.02.074、査読有
4. Kida M, Ohtsuka T, Kato T, Suzuki T, Fujitake N, Evaluation of salinity effect on quantitative analysis of aquatic humic substances using nonionic DAX-8 resin. Chemosphere 146 (2016) 129-132 DOI: 10.1016/j.chemosphere.2015.12.031、査読有

〔学会発表〕(計 16 件)

1. 友常満利、中野凌祐、南埜幸也、吉竹晋平、藤嶽暢英、大塚俊之「石垣島吹通川流域のマングローブ林における土壤呼吸速度の時空間変動」第 64 回日本生態学

会 2017 年 3 月 16 日 早稲田大学(東京都新宿区)

2. 近藤美由紀、高橋浩、吉竹晋平、友常満利、金城和俊、大塚俊之「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 2017 年 3 月 16 日 早稲田大学(東京都新宿区)
3. 中野凌祐、南埜幸也、田邊舞、大塚俊之、藤嶽暢英、友常満利「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 回日本生態学会 2017 年 3 月 15 日 早稲田大学(東京都新宿区)
4. Zheng S, Yoshitake S, Tomotune M, Kondo M, Onishi T, Ohtsuka T “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 2016 年 12 月 3 日 三重大学(津市)
5. 荒井秀、大塚俊之「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 2016 年 12 月 3 日 三重大学(津市)
6. 金城和俊、勝部尚隆、大塚俊之「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壤由来の栄養塩」日本土壌肥料学会 2016 年 9 月 21 日 佐賀大学(佐賀県本庄)
7. 木田森丸、田邊舞、友常満利、飯村康夫、金城和俊、近藤美由紀、Sasitorn Pongparn、大塚俊之、藤嶽暢英「マングローブ林土壤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 2016 年 9 月 20 日 佐賀大学(佐賀県本庄)
8. Kida M, Sato H, Ohtsuka T, Kawahigashi M, Hirota M, Nakatsubo T, Oyuntsetseg B, Khakhinov VV, Pongparn S, Fujitake

- N "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 2016年9月12日(金沢市)
9. 友常満利、大塚俊之、新海恒、墨野倉伸彦、小泉博「亜熱帯マングローブ林における粗大有機物(CWD)の分解呼吸特性」第63回日本生態学会 2016年3月24日 仙台国際センター(仙台市)
 10. 吉竹晋平、友常満利、大塚俊之「マングローブ林における有機物分解：潮汐の影響を考慮した堆積物からの無機態炭素放出速度の測定」第63回日本生態学会 2016年3月24日 仙台国際センター(仙台市)
 11. 飯村康夫、大塚俊之「石垣島吹通川河口マングローブ林堆積泥における有機炭素の蓄積量と起源推定」第63回日本生態学会 2016年3月24日 仙台国際センター(仙台市)
 12. 大塚俊之、友常満利、吉竹晋平、飯村康夫「マングローブ林の生態系純生産量(NEP)に関する研究」第21回日本マングローブ学会平成27年度大会 公開シンポジウム「マングローブ研究の最前線」招待講演 2015年12月12日 東京農業大学(東京都世田谷区)
 13. 木田森丸、友常満利、加藤拓、飯村康夫、金城和俊、大塚俊之、藤嶽暢英「石垣島吹通川河口マングローブ林における土壌有機炭素の貯留機構：海水塩の影響について」第21回日本マングローブ学会平成27年度大会 2015年12月12日 東京農業大学(東京都世田谷区)
 14. 友常満利、大塚俊之、墨野倉伸彦、木田森丸、小泉博「亜熱帯マングローブ林における粗大有機物の分解呼吸特性」第21回日本マングローブ学会平成27年度大会 2015年12月12日 東京農業大学(東京都世田谷区)
 15. 木田森丸、田邊舞、加藤拓、飯村康夫、金城和俊、大塚俊之、友常満利、藤嶽暢英「マングローブ林内土壌における炭素貯留機構に関する要因の一予察的研究」第31回日本腐植物質学会 2015年11月19日 名古屋大学(名古屋市)
 16. 木田森丸、田邊舞、加藤拓、飯村康夫、金城和俊、大塚俊之、友常満利、藤嶽暢英「マングローブ林内土壌における脱塩洗浄が溶存有機物の溶出に及ぼす影響」日本土壌肥料学 2015年度大会 2015年9月9日 京都大学(京都市)
- 〔図書〕(計 1 件)
1. 大塚俊之 (2016) 日本植物学会編「植物学の百科事典」pp202-203, “土壌呼吸” 丸善出版
- 〔産業財産権〕
特になし
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
金城 和俊 (KINJO, Kazutoshi)
琉球大学・農学部・准教授
研究者番号：30582035

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