

平成21年 4月13日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19770013

研究課題名（和文）河川を流下する陸上有機物の代謝過程と流域呼吸の推定

研究課題名（英文）Basin respiration and the fate of fluvial terrestrial organic carbon in the Fuji River watershed

研究代表者

岩田 智也（IWATA TOMOYA）

山梨大学・大学院医学工学総合研究部・准教授

研究者番号：50362075

研究成果の概要：河川を流下する陸起源有機物は、河川生物に代謝されながら海洋へ輸送されてゆく。しかし、流下有機物の分解速度を流域スケールで推定した研究はない。そこで、富士川水系全域における陸上炭素の無機化速度を推定した。その結果、本流域では市街地・農地を流れる小河川で呼吸活性が著しく増加し、陸起源炭素が大量に無機化されていることを明らかにした。このことから、河川の大きさと周辺の土地利用が陸域から海洋への炭素輸送を大きく変化させていることが示された。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,100,000	0	2,100,000
2008年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	270,000	3,270,000

研究分野：生物学

科研費の分科・細目：基礎生物学・生態・環境

キーワード：水系、炭素フラックス、河川食物網、流域呼吸、陸-川-海相互作用、陸上有機物、スパイラルレンダス、土地利用

1. 研究開始当初の背景

大気中の CO₂ 濃度増加とそれに伴う温暖化への懸念から、生態系の炭素代謝（生産と呼吸）を推定する研究が数多く行われている。これら炭素フラックス研究は、物質循環モデルの主なコンパートメントとして陸上、土壌、大気および海洋のみに注目している。しかし、最近になって川や湖などの陸水環境が炭素循環に大きな役割を果たしている可能性が指摘されるようになってきた。

陸域は正味の炭素吸収源とみられてきたが、実はその純生産のうち約 0.5 GtC y⁻¹ が河川へ流出している（Meybeck 1993）。この陸上有

機物は、流下する過程で川や湖の食物網に取り込まれながら無機化され、主に CO₂ として大気に放出される。この河川の呼吸による温室効果気体の放出は、陸域の炭素収支において無視できない量に達する（Richey et al. 2002）。また、無機化されずに川から海へ運ばれる陸上有機物は外洋で主に従属栄養細菌に利用される。これが世界中の貧栄養海域で呼吸が生産を上回る（GPP/CR 比<1）原因の 1 つとなっている。このように、流域における陸上有機物の代謝が、生態系間の炭素バランスに影響する重要な物質循環過程であると認められるようになってきた。しかし、比較的多くの

研究が行われている欧米でも、流域スケールでの河川の呼吸量は推定されていない。また、国内では河川の炭素代謝そのものがほとんど測定されていないのが現状である。陸上有機物の分解に起因して世界中の多くの河川はCO₂分圧が過飽和(大気への放出)であると予測されているが(Cole et al. 1994)、国内ではそのようなデータさえほとんど存在しない。

2. 研究の目的

本研究は、河川における陸上有機物の代謝を流域スケールで明らかにすることを目的にしている。研究申請当初は、具体的に以下の3つの課題に取り組む予定をたて、研究計画を策定した。

- (1) 河川における陸上有機物の無機化速度(呼吸)を源流から下流域まで、流域全体で測定する
- (2) ダムや三面護岸が陸上有機物の無機化速度(呼吸)に及ぼす影響を定量化する
- (3) (1) (2)より流域全体の呼吸速度(gC basin⁻¹ d⁻¹)と河川改修による流域呼吸変化を推定する。

しかしながら、調査開始1年目に(1)を実施していく際に、ダムや三面護岸による河川流路の変化より、河川規模や土地利用による河川環境変化の方が、水系の炭素循環に甚大な影響を及ぼしている可能性が明らかとなった。そこで、本研究は新たな目的(4)~(6)を設定し直し、以下の課題に取り組んだ。

- (4) 河川生物の呼吸による陸上有機物の無機化速度を源流から下流域まで、流域全体で測定する
- (5) 河川生物の呼吸による陸上有機物の分解効率を、大きさや土地利用の異なる河川で比較する
- (6) (1) (2)より流域全体の陸上有機物の分解速度(gC basin⁻¹ d⁻¹)を推定し、陸上から海洋への炭素フラックスにおける水系の機能を定量的に評価することを目的とする。

3. 研究の方法

調査は、2007~08年7~10月に富士川水系全域(3,990km²)で行った(図1)。河川次数1~6次の計44河川(森林・農地・都市河川; 標高10~1,950m)において、総生産(GPP)と群集呼吸速度(CR)を溶存酸素濃度の連続観測と大気とのO₂交換速度の計測により推定した。陸上有機物を基質とする呼吸速度(R_{TER})は、河床堆積物の培養で得た呼吸CO₂の炭素安定同位体比から、呼吸基質の起源推定を行って算出した。

得られた推定値を代謝モデルで定式化し、地理情報システム(GIS)上で流域全体に補間することで、富士川水系の流域代謝速度(tC basin⁻¹ day⁻¹)を推定した。また、陸上

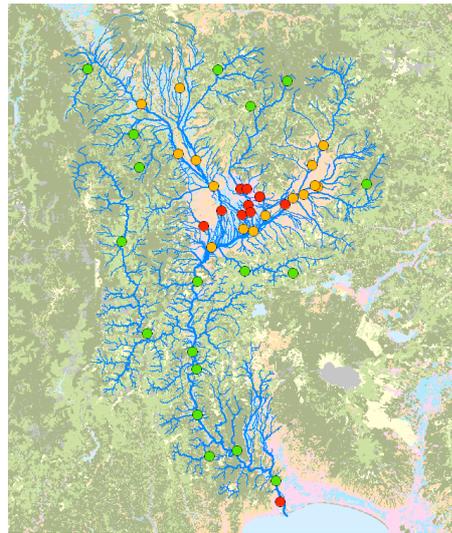


図1. 富士川水系と調査地(緑:森林河川, 橙:農地河川, 赤:都市河川)

有機物のフラックスと分解速度(R_{TER})をもとに、河川内における分解効率(平均回転距離と取り込み速度)を算出し、河川の大きさおよび土地利用で比較を行った。

4. 研究成果

富士川水系では、流域の土地利用と河川の大きさが、河川生物群集の呼吸活性に大きく影響していた。農地・市街地を流れる小河川(1-2次河川)では、栄養塩(窒素・リン)および有機物濃度が森林河川や中・大規模河川(3-6次河川)と比較して著しく高くなっており、生物の呼吸活性もそれに合わせて増加していた。このことは、小河川の水質と生物活性が、土地利用とそれに付随した人間活動の影響を受け易いことを示していた。また、群集呼吸速度(CR)に占める陸上炭素を基質とする呼吸の割合 f は、河川の大きさで変化し、小河川の食物網ほどエネルギー源として

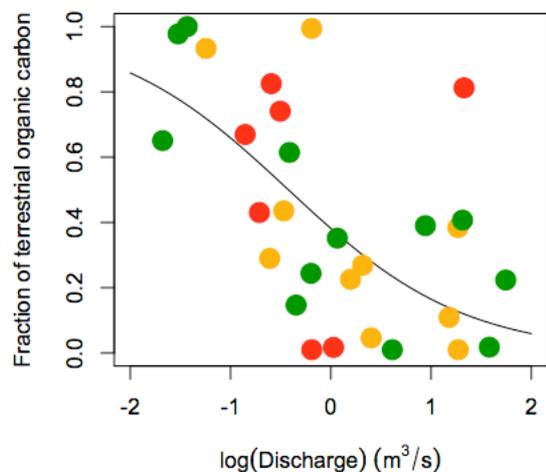


図2. 陸上有機物を基質とする呼吸速度の割合と河川の大きさ(流量)との関係。緑:森林河川, 橙:農地河川, 赤:都市河川)

陸起源有機物に強く依存していることが明らかとなった(図2)。一方、規模の大きな川の生物群集は、主に藻類が生産する自生性有機物を呼吸基質としていた。結果として、河床面積あたりの陸上有機物の代謝速度($R_{TER} = CR \cdot f$)は、農地・市街地流域の1-2次河川で最も高くなることを明らかにした。

川の大きさと土地利用は、陸上炭素の分解効率にも強く影響していた(図3)。物質代謝が主に河床の生物によって担われている河川生態系では、水路内に入力した陸上有機物は、河床生物の代謝により水底方向に移動しながら下流へ輸送されてゆく。この有機炭素の鉛直移動速度 v_f を推定し、河川ごとに比較した(図3B)。その結果、農地および市街地河川でこの移動速度が早くなっていることが明らかとなった。また、炭素原子が無機化されるまでの平均流下距離 S_w (スパイラルレングス)は、小河川ほど短くなる傾向を示した(図3A)。これは、小河川ほど水深が浅く、水の滞留時間が長いことに加え、生物群集の呼吸速度も速まることから、炭素原子がより短い区間で水柱から河床に到達するためであると考えられた。得られた回帰式をもとに試算すると、小河川(流量 $0.1\text{m}^3/\text{s}$)の S_w は 10km 以下であるのに対し、流量 $10\text{m}^3/\text{s}$ 以上の大河川ではおよそ 100km に達していた。富士川本流(6次河川、流量 $>10\text{m}^3/\text{s}$)の河口までの流程が約 88km であることを考えると、本流に入力した陸起源有機物の半分以上は、河川内では分解されずに駿河湾や太平洋へと輸送されていくことを意味している。このことから、陸上有機炭素の海洋への輸送には、高い有機物分解効率を示す農地・市街地の小河川における生物群集の呼吸活性が、強く関わっていることが示唆された。

そこで富士川水系全域での分解速度を推定するために、呼吸速度の温度および資源(栄養塩)依存性を記述した代謝モデルを観測結果から構築した。モデルは、富士川水系全域を 100m グリッドに区分したデジタル河道網に

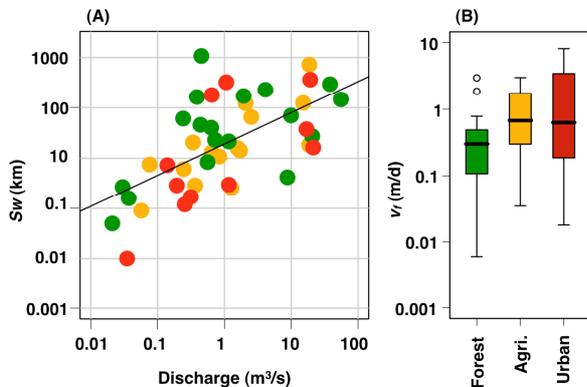


図3. 富士川水系における陸上有機物の分解効率。(A) 河川の大きさ(流用)が陸上炭素の平均流下距離に及ぼす影響。(B) 土地利用が陸上炭素の鉛直移動速度に及ぼす影響。緑: 森林河川, 橙: 農地河川, 赤: 都市河川)

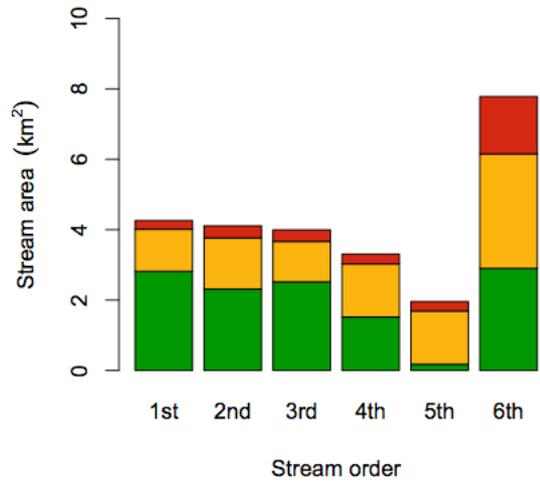


図4. 地理情報システムで推定した富士川水系の水路面積。値は河川次数ごとに示した。緑: 森林河川, 橙: 農地河川, 赤: 都市河川)

当てはめ、流域全体の陸上有機物の無機化速度(夏期・平水時)を推定した。ここで、代謝モデルの変数である水温と栄養塩濃度は、一般化線形モデルにより推定し、各グリッドの推定値とした。なお、地理情報システムで水系網解析を行った結果、富士川水系では本流の6次河川がもっとも大きな面積を占めていた(図4)。

代謝モデルによる推定の結果、流域呼吸(37.7tC/d)は流域生産(25.4tC/d)を上回り、富士川水系は外来有機物によって維持されている純従属的なシステムであることを明らかにした。このことは、水路網が脱ガスによって CO_2 を大気に放出していることを示している。この大気に放出される余剰の炭素量は、陸上有機物の水系内での分解量(10.3tC/d)にほぼ匹敵していた(図5)。河川次数ごとに比較すると、有機炭素のフラックス(流域生産と流域呼吸)は最も広い富士川本流(6次河川)で量的にもっとも活発であるが、陸上有機炭素は主に1次河川(全流域の25%)と2次河川(同じく22%)の呼吸によって無機化されていた(図5)。河口部から駿河湾への炭素の輸送フラックスは、平水時で $0.9\sim 5.0\text{tC/d}$ であることから、水系全体の生物群集による炭素の無機化はこれを凌いでいる。さらには、農地や市街地河川が、水系全体の炭素収支に大きく貢献していることも明らかにした。これら定量的な結果から、河川の大きさと土地利用が、集水域スケールの炭素動態を左右する重要な要因であると考えられた。

本研究により、富士川流域の水系ネットワークは陸上から入力した炭素の輸送系としてだけでなく、流域の炭素収支に大きく関わる代謝系(分解の場)として機能していることを明らかにした。このような河川内における有機炭素の無機化過程は、陸上から沿岸域への炭素輸送をコントロールしている。特に、

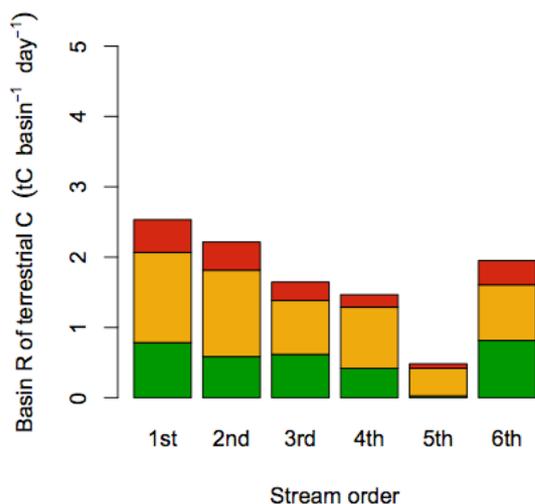


図5. 富士川水系における陸上有機炭素の分解量. 値は河川次数ごとに示した. 緑: 森林河川, 橙: 農地河川, 赤: 都市河川)

人間活動が卓越した流域を流れる小河川の生物呼吸活性は、流下炭素を介した陸域-海洋リンケージにきわめて大きな影響を及ぼしていることを明らかにした。

このように、広大な流域全体で水系の物質代謝を実測データをもとに定量評価した研究は、国内では皆無であり、国外でも小流域（概ね100ha以下）を除いてこれまでにない。陸から海洋への炭素輸送において、水系の果たす機能を明確に示した点で、本研究は大きな学術的貢献を果たすものと期待している。また、この知見をもとにして、陸水域をコンパートメントに入れた炭素循環モデルの開発と高精度化がなされる可能性もあり、温暖化予測への寄与や他地域での後続研究を促す起爆剤となりうるものであると期待している。

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)

[学会発表] (計1件)

- ①岩田智也、廣瀬正也、伊在丸洵、芳賀弘和、高津文人、富士川水系を流下する陸上有機物の代謝と海洋への輸送、第120回日本森林学会大会、2009年3月28日、京都大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岩田 智也 (IWATA TOMOYA)
山梨大学・大学院医学工学総合研究部・准教授
研究者番号：50362075

(2) 研究分担者

該当無し

(3) 連携研究者

該当無し