

学 位 審 査 報 告 書

(ふ り が な) 氏 名	いしかわ なおと 石 川 尚 人
学位 (専攻分野)	博 士 (理 学)
学 位 記 番 号	理 博 第 号
学位授与の日付	平成 年 月 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	理 学 研 究 科 生 物 学 専 攻
(学位論文題目) Elucidating the relationship between food web and carbon cycle in stream ecosystems using ¹⁴C natural abundance method (放射性炭素 14 の天然存在比を用いた 河川生態系の食物網と炭素循環との関係の解明)	
論 文 調 査 委 員	(主査) 陀安 一郎 准教授 曾田 貞滋 教授 奥田 昇 准教授

理 学 研 究 科

(続紙 1)

京都大学	博士（理 学）	氏名	石川 尚人
論文題目	Elucidating the relationship between food web and carbon cycle in stream ecosystems using ¹⁴ C natural abundance method （放射性炭素 14 の天然存在比を用いた 河川生態系の食物網と炭素循環との関係の解明）		
（論文内容の要旨）			
本論文は、放射性炭素 14 の天然存在比（Δ¹⁴C）を用いて、河川生態系の食物網と炭素循環との関係を明らかにした研究である。第 2 章では、河川の高い空間的異質性がもたらす炭素安定同位体比（δ¹³C）の変動性に関して、既存の論文からメタ解析を行った。河川生態系の主要な生産者である、礫表面に付着する藻類（付着藻類）のδ¹³C は空間的に大きく変動した。このことから、食物網の炭素起源推定において精度の高い解析をするためには、δ¹³C に替わる指標が必要であることが示された。第 3 章では、放射性炭素 14 の天然存在比（Δ¹⁴C）による食物網解析を行った。ここでは、Δ¹⁴C が地下部から溶出する年代の古い炭素と現在の大気CO₂ との混合によって値が決まることを利用した。その結果、Δ¹⁴C は付着藻類で低くリターで高かった。したがってΔ¹⁴C を用いることで、堆積岩地質の河川において「年代の古い炭素を固定する付着藻類」と「現在の大気CO₂ に由来する陸上植物リター」とを分離できることを示した。第 4 章では、付着藻類δ¹³C と Δ¹⁴C の変動性について同一河川における複数のハビタット間で比較した。δ¹³C は付着藻類とリターとの間で重複があるほど大きな変動を示したが、Δ¹⁴C はこれらを明瞭に分離した。加えて、δ¹³C はハビタット間で有意な差があったのに対し、Δ¹⁴C は有意な差がなかった。この結果、空間的異質性の高い河川の食物網の炭素起源推定に対しては、δ¹³C よりも Δ¹⁴C の方が有効な指標であることが実証された。第 5 章では、Δ¹⁴C を用いて河川食物網の炭素起源推定を行った。水生昆虫や魚類など食物網を構成する生物のΔ¹⁴C は付着藻類とリターとの間に位置し、河川の食物網が現在の大気CO₂ だけでなく、数千年前に固定された古い炭素にも依存していることが示された。本研究により、食物網の炭素起源を示す新たな指標として、Δ¹⁴C を用いた方法論が確立された。Δ¹⁴C を用いることで、δ¹³C の弱点を補うだけでなく、炭素の年代情報から食物網の時間軸構造を論じることが可能となった。この成果は、流域の保持する年代の古い炭素が様々な時間的遅れを伴って河川食物網を支えていることを意味し、生物のΔ¹⁴C が人間活動に伴う環境変化に対する集水域生態系の中長期的応答、特に、炭素循環過程および食物網構造の変化を知るための有効な指標となることを示した。			
（論文審査の結果の要旨）			
河川生態系は、各種の生態系プロセスが盛んな系の 1 つであり、同時にその空間的な異質性は生物群集の多様性を生み出し、捕食・被食関係を通じて複雑な食物網構造を形成する。しかしながら河川生態系における食物網動態と、生物にとって最も重要な元素の 1 つである炭素の循環とは、これまで別々に研究が行われてきた。そこで本論文では、食物網と炭素循環を同一の尺度で扱うことのできる放射性炭素 14 の天然存在比（Δ¹⁴C）の利用という画期的な発想から、河川食物網の炭素循環上における位置を明らかにするという極めて独創的な成果を生み出した。本論文により生物のΔ¹⁴Cが			

ら生態系構造を評価したことは、食物網・炭素循環研究の双方にとって意義があり、今後の生態系構造解析に重要な示唆を与えるものと考えられる。

第2章では、食物網解析における従来法である炭素安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) の変動性に関して、既存論文のデータをメタ解析により取り出すというアプローチで検証した。河川生態系の主要な生産者である付着藻類の $\delta^{13}\text{C}$ に着目して解析した結果、付着藻類の $\delta^{13}\text{C}$ は空間的に大きく変動し、高い頻度で陸上の C_3 植物の $\delta^{13}\text{C}$ と値が重複する可能性があることが明らかとなった。付着藻類の $\delta^{13}\text{C}$ は光合成の際に発生する同位体分別によって値が決まる。これは空間的な異質性が極めて大きい河川生態系において、 $\delta^{13}\text{C}$ を利用して食物網解析を行うことの問題点を提示した先行研究の一般性を支持するものである。一方でこの問題点は、精度の高い食物網解析を行うためには、 $\delta^{13}\text{C}$ の弱点を補うツールが必要であることを示す。

第3章では、 $\Delta^{14}\text{C}$ の食物網解析への応用性を、石灰岩河川を対象として検証した。ここでは河川生態系の炭素化合物が、風化した石灰岩に由来する年代の古い無機炭素と、現在の大気 CO_2 に由来する新しい炭素という2つの起源をもつことを利用し、付着藻類と陸上植物リターを $\Delta^{14}\text{C}$ により分けることができるのではないかと予測した。生物や付着藻類、陸上植物リターを採集し $\delta^{13}\text{C}$ と $\Delta^{14}\text{C}$ を測定した結果、付着藻類の $\Delta^{14}\text{C}$ は低く、陸上リターの $\Delta^{14}\text{C}$ は高いことが明らかになり、これら2つの炭素起源を $\Delta^{14}\text{C}$ により明確に分離できることが世界で初めて示された。さらに、食物網への炭素起源の寄与率推定においては $\delta^{13}\text{C}$ と $\Delta^{14}\text{C}$ とで異なる結果が得られることを明らかにし、 $\Delta^{14}\text{C}$ と $\delta^{13}\text{C}$ の変動性についてのさらなる検証が必要であることを示した。

第4章では、同一河川の複数のハビタット間において、付着藻類の $\delta^{13}\text{C}$ と $\Delta^{14}\text{C}$ の変動性を比較した。 $\delta^{13}\text{C}$ はハビタット間で有意な差があったのに対し、 $\Delta^{14}\text{C}$ には有意な差がなかった。陸上植物リターの $\delta^{13}\text{C}$ および $\Delta^{14}\text{C}$ はそれぞれ一定であったため、付着藻類のハビタット間における同位体比の差の有無は、直接的に炭素起源推定に影響を及ぼすことが明らかとなった。すなわち、たとえ付着藻類と陸上植物リターの $\delta^{13}\text{C}$ が重複しない場合であっても、河川生態系のハビタット間を移動する生物の炭素起源を推定するにあたり、 $\delta^{13}\text{C}$ よりも $\Delta^{14}\text{C}$ の方が有効であることが示された。

第5章では、石灰岩河川と非石灰岩河川において、食物網の $\Delta^{14}\text{C}$ を比較した。石灰岩河川の付着藻類の $\Delta^{14}\text{C}$ は非石灰岩河川のそれよりも低かった。ただし非石灰岩河川であっても、付着藻類と陸上植物リターという2つの炭素起源間の $\Delta^{14}\text{C}$ には大きな差が存在し、流域に石灰岩のような炭素リザーバーがなくとも $\Delta^{14}\text{C}$ を炭素起源推定の有効なツールとして利用できることが明らかとなった。また、生物の $\Delta^{14}\text{C}$ は大きなばらつきを示したが、概ね付着藻類とリターの間値の値をとり、 $\Delta^{14}\text{C}$ により食物網が炭素循環の上に位置づけられることが分かった。これらの結果は、流域

の保持する年代の古い炭素が河川食物網の生産を支えていることを意味し、生態系生態学的に価値の高い成果と言えるであろう。

本研究は、地球環境変動下における炭素循環機構と生物多様性研究という大きな研究ニーズのある 2 つの分野をまたいだ視点を持っており、世界でも類を見ないほど独創的である。これらの研究を博士課程在学中になしとげたことは高く評価出来る。現時点では、これらの研究と比較しうる他の研究がないために細部に関する議論を展開することができないが、本研究で示された河川食物網解析における ^{14}C の利用性が広く認識された後には、流域の生態系構造の解明という大きな課題に対して寄与するものと期待される。

よって、本論文は博士（理学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 23 年 1 月 7 日に論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果、合格と認めた。