

学位論文題名

Transport process of terrestrial organic matter
in sediments inferred from stable carbon and nitrogen
isotopes: a methodological study at the East China Sea
and the southwest coast of Thailand.

（安定炭素・窒素同位体より推定される陸起源有機物の堆積物への
輸送過程：東シナ海及びタイ南西海岸域における方法論的研究）

学位論文内容の要旨

有機物の安定炭素・窒素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) は、これまで海底堆積物を用いた古環境解析などにおいて、その起源を推定するために用いられてきた。こうした研究は、一般的に陸上植物の $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ が、海洋植物プランクトンに比べても低い値を示す性質に基づいている。しかし、陸起源の有機物の同位体比は、地域の植生（例えば $\delta^{13}\text{C}$ の高い C_4 植物の影響）によって異なり、さらに海洋植物プランクトンも取り込む無機炭素・窒素の同位体比や同化の際の同位体分別などにより変動する。また近年の人間活動が河川や沿岸における無機窒素の $\delta^{15}\text{N}$ に及ぼす影響も無視できない。したがって、沿岸域においてどのような有機物が堆積物として埋没しているかを推定するためには、実際にその海域に供給される陸起源有機物や海水中で生成している粒状物の特徴を明らかにすることが不可欠である。また、沿岸域において物質の輸送過程を明らかにすることは、全球的な炭素収支を見積もるうえでも重要である。このような背景から、本研究は陸上、沿岸、外洋域における有機物（陸上植物、懸濁粒子、沈降粒子）の同位体比をもとに堆積物中有機物の起源や粒子の輸送過程について明らかにすることを目的として行った。調査地域はタイ南西沿岸域と東シナ海とした。両地域とも陸から輸送される粒状物が多いことが報告されている地域であるが、その環境は全く異なる。

タイ南西沿岸域は、ゴムなどのプランテーションが多く、また河川や海岸に沿ってマングローブが、沿岸には海草が分布しており、沿岸堆積物の起源として多種の植物が考えられる複雑な地域である。同地域の海草については、Chirapart & Yamamuro (1999)により同位体比が報告されている。そこで本研究では、ゴムなどの陸上植物、マングローブ、さらに河川や沿岸の懸濁粒子 (POM) や堆積物について分析を行った。試料は、人為的影響を見るために、目立った河川の流入がない地域（小河川地域）と都市の隣接するトラン川という調査地域の中では最も大きな河川の流域（トラン川地域）の2地域で採取した。

陸上植物及び河川のPOMや堆積物の $\delta^{13}\text{C}$ は-28~-25‰で、 C_3 植物の影響が強く $\delta^{13}\text{C}$ の高い C_4 植物の影響は小さかった。しかし沿岸堆積物の $\delta^{13}\text{C}$ は、沿岸のPOMに比べてもさらに高い値を示し、 $\delta^{13}\text{C}$ の高い海草の影響を強く受けていたと考えられる。一方、マングローブ、河川のPOMや堆積物の $\delta^{15}\text{N}$ はトラン川流域で高い値を示した。これは隣接する都市からの排水の流入など人間活動による影響の付加によりトラン川の硝酸の $\delta^{15}\text{N}$ が高くなっていることを示唆する。さらに沿岸のPOMや堆積物の $\delta^{15}\text{N}$ もトラン川河口付近が高い傾向

を示し、トラン川流域に見られる人為的影響は沿岸まで広がっていることが明らかになった。

安定同位体を用いて起源の推定を行う場合、通常 2~3 種のエンドメンバーを設定し連立方程式によりそれぞれの寄与率を算出するマスバランス計算が用いられる。しかし調査地域では、特徴的な同位体比を示した 4 種のエンドメンバー（陸上植物、マングローブ、沿岸の POM、海草）が認められた。そこで本研究では、確率論的な計算（モンテカルロ法）を用いることによりそれぞれの寄与を推定した。その結果、両地域において最も寄与が大きいのは海草であり、小河川地域で 42%、トラン川地域で 36%を占める。POM の寄与は、トラン川地域で高く（19%）、小河川地域では低い（13%）。陸上植物とマングローブの寄与はそれぞれ 23%前後で地域による大きな差は見られなかった。

沿岸域は、地域によりさまざまな有機物の寄与や変動が考えられる。しかし、安定同位体を用いることにより、本地域のように多様な起源有機物が想定される沿岸においても、それぞれの寄与率を推定することが可能である。このような可能性を示したことは、今後、安定同位体を用いて沿岸域で研究を行っていくうえでも重要だといえる。

沿岸域において堆積した陸起源あるいは海洋起源有機物の一部は、さらに外洋に運ばれていることが予想される。東シナ海は世界でも有数の大河川が流入し生物生産が高い広大な大陸棚を有する縁海であるが、陸棚斜面付近のセジメントトラップ実験から下層ほど沈降粒子（SPM）のフラックスが高いことが報告されており、陸棚から沖縄トラフへの粒子の流れ込みの影響と考えられてきた。そこでこの海域では、河川から供給される有機物の同位体的特徴を明らかにするために長江河口で採取された 2 本のコア（CM97, Y4）の分析を行った。さらに河口から琉球列島にかけてのトランセクト（PN ライン）において採取された POM の分析を行い、沿岸から外洋にかけての違いについて調べた。また陸棚から離れた外洋の SPM についても分析を行い、これまで報告されている SPM や堆積物の同位体比と比較することにより、東シナ海における粒子の輸送について明らかにしようとした。

CM97 コアは、すでに Horii et al. (1999)により ^{14}C 年代が報告されており、コア下部で約 10,800yr B.P.を示す。本研究で得られたコア中有機物の同位体比は、 $\delta^{13}\text{C}$ が -24~-22‰、 $\delta^{15}\text{N}$ は 2~4‰の間で変動していた。Y4 コアについてはまだ年代値は得られていないが、同位体比の変動幅は CM97 とほぼ同様であった。つまり、過去約1万年間に長江から供給された陸起源有機物の同位体比は $\delta^{13}\text{C}$ が -23‰、 $\delta^{15}\text{N}$ は 3‰程度であったということになる。しかし、CM97 コアの $\delta^{15}\text{N}$ が上部で急激に増加し 10‰近い値を示した。この上昇は人為的影響によるものと考えられ、長江から流入する有機物の $\delta^{15}\text{N}$ が近年は上昇している可能性を示唆している。

POM の $\delta^{13}\text{C}$ は、河口付近から外洋の黒潮流域の表層においてほぼ一様で -24~-22‰を示し、河口域のコアと比較しても大きな違いは見られなかった。さらに、河口域のいくつかの測点では -18‰近くの高い値を示した。これは河口付近では生物生産が高く、植物プランクトンが溶存二酸化炭素を取り込む際の分別が小さくなった可能性を示唆している。一方、POM の $\delta^{15}\text{N}$ は、河口域で高く黒潮流域で低いという傾向を示した。河口域で $\delta^{15}\text{N}$ が高い原因の一つとしては、 $\delta^{13}\text{C}$ と同様で生物生産が高かった影響が考えられるが、CM97 コア上部に見られたような陸から輸送される $\delta^{15}\text{N}$ の高い有機物が寄与している可能性もある。また、黒潮流域の低い $\delta^{15}\text{N}$ は窒素固定藻類の影響である。さらに POM の同位体比は、深くなるにつれ $\delta^{13}\text{C}$ は低く $\delta^{15}\text{N}$ は高くなるという、深度に伴う変化が見られた。これは POM の質的な違いか、あるいは POM が深層で受ける分解の影響と考えられる。

SPM の同位体比は、河口域や陸棚斜面から離れた外洋域においては、表層の POM とよく一致しており、SPM は表層の POM の影響を強く受けていることがわかった。しかし陸棚斜面域では表層の POM と比較して $\delta^{15}\text{N}$ が高くなる傾向を示した。これは陸棚から $\delta^{15}\text{N}$ の高い粒状物の流れこんでいる影響であり、陸棚斜面における流れ込みが安定同位体からも確かめられた。

沿岸域は、陸起源有機物の寄与があるだけでなく、河川からの栄養塩の流入により高い生物生産が見られ、その生産量は外洋全体に匹敵するという報告もある。このためグローバ

ルな物質循環の見積もりにも少なからず影響を与えると考えられているが、地域によって環境が異なるため定量的な見積もりは難しい。しかし、本研究は、安定同位体を用いることにより、まったく環境の異なる地域において堆積物の起源や輸送過程について明らかにした。このことは、他の沿岸域においても同様の研究が有効であることを示しており、今後、沿岸域の役割を明らかにする研究が進んでいくことが期待される。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 南 川 雅 男
副 査 教 授 大 場 忠 道
副 査 助 教 授 長 谷 川 四 郎
副 査 助 教 授 山 本 正 伸

学位論文題名

Transport process of terrestrial organic matter
in sediments inferred from stable carbon and nitrogen
isotopes: a methodological study at the East China Sea
and the southwest coast of Thailand.

(安定炭素・窒素同位体より推定される陸起源有機物の堆積物への
輸送過程：東シナ海及びタイ南西海岸域における方法論的研究)

安定炭素・窒素同位体組成は、これまで海底堆積物を用いた古環境研究において、有機物の起源を推定するプロキシとして用いられてきた。こうした研究の原理は、陸上植物と海洋植物プランクトンの同位体組成が、一般的に大きく異なることに基づいている。しかし、陸起源の有機物の同位体比は、地域の植生や種類によっても異なることが知られているし、海洋植物プランクトンも無機炭素・窒素を取り込む際の同位体分別の発現の違いにより変動する。また近年の人間活動が河川や沿岸域の有機物に影響を及ぼしている影響も無視できない。したがって、沿岸域においてどのような有機物が堆積物として埋没しているかを推定するためには、実際にその海域に供給される陸起源有機物や海水中で生成している粒状物の特徴についての理解が不可欠である。また、沿岸域において物質の輸送過程を明らかにすることは、全球的な炭素収支を見積もるうえでも重要である。このような背景から、本研究は陸上、沿岸、外洋域における起源有機物（陸上植物、懸濁粒子、沈降粒子）の同位体組成を分析することにより堆積物中有機物の起源や粒子の輸送過程について明らかにすることを目的として行った。

タイ南西沿岸域では、人間活動の影響を見るために、目立った河川の流入がない地域（小河川地域）と都市の隣接する河川の流域（トラン川地域）の2地域において、ゴムなどの陸上植物、マングローブ、さらに河川や沿岸の懸濁粒子や堆積物について採取した。陸上植物及び河川の懸濁粒子や堆積物の $\delta^{13}\text{C}$ は $-28\sim-25\text{‰}$ で、 C_3 植物の影響が強かった。またトラン川流域から得られた試料は、高い $\delta^{15}\text{N}$ 値を示し、隣接する都市からの排水の流入など人間活動による影響がみられた。両地域において、確率的な計算（モンテカルロ法）を用いることにより4種のエンドメンバー（陸上植物、マングローブ、沿岸の懸濁粒子、海藻）の寄与率を推定した。その結果、両地域にお

いて最も寄与が大きいのは海草であり、小河川地域で 42%、トラン川地域で 36%を占める。懸濁粒子の寄与は、トラン川地域で高く (19%)、小河川地域では低い (13%)。陸上植物とマングローブの寄与はそれぞれ 23%前後で大きな差はない。

沿岸域は、地域によりさまざまな有機物の寄与や変動が考えられる。しかし、安定同位体を用いることにより、本地域のように多様な起源有機物が想定される沿岸においても、それぞれの寄与率を推定することが可能である。このような可能性を示したことは、今後、安定同位体を用いて沿岸域で研究を行っていくうえでも重要だといえる。

沿岸域において堆積した陸起源あるいは海洋起源有機物の一部は、さらに外洋に運ばれていることが予想される。東シナ海は世界でも有数の大河川が流入し生物生産が高い広大な大陸棚を有する縁海であるが、陸棚斜面付近のセジメントトラップ実験から下層ほど高い沈降粒子フラックスが報告されており、陸棚から外洋への粒子の輸送と考えられていた。東シナ海に流入する河川起源有機物の特徴を明らかにするために、長江河口で採取された 2 本のコアについて分析を行った。CM97 コア中有機物の同位体比は、 $\delta^{13}\text{C}$ が $-24\sim-22\%$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ は $2\sim4\%$ の間で変動していたが、上部で $\delta^{15}\text{N}$ が急激に増加した。この上昇は人間活動の影響により、長江から流入する有機物の $\delta^{15}\text{N}$ が近年は上昇している可能性を示唆している。表層の懸濁粒子の $\delta^{15}\text{N}$ も、河口域で高く、また黒潮流域では窒素固定藻類の影響で懸濁粒子の $\delta^{15}\text{N}$ は低かった。陸棚の海底付近では高濁度層がみられ、これまで海底堆積物の再懸濁と考えられていた。しかしこの濁度層内の懸濁粒子の同位体比は、堆積物の同位体比とは一致せず、 $\delta^{13}\text{C}$ が低く $\delta^{15}\text{N}$ が高い陸起源有機物の寄与が示唆された。

陸棚から輸送される粒子の影響が小さいと考えられる外洋の沈降粒子についても分析を行い懸濁粒子の同位体比と比較したところ、表層の懸濁粒子とよく一致しており、沈降粒子は表層で生成した粒子の影響を強く受けていることがわかった。また沈降粒子の同位体比は、懸濁粒子と同様に陸棚域と黒潮域で違いが見られたことから、マスバランス計算により陸棚からの輸送される粒子の寄与を見積もった。その結果、陸棚斜面域における沈降粒子中有機物のうち 38~56%は、陸棚からの輸送であると考えられた。

以上のように本研究で見いだした有機物の炭素・窒素安定同位体の挙動は海底有機物の性質を推定するために重要な知見であり、今後の古環境研究に大きく貢献するものといえる。

審査員一同は、これらの成果を高く評価し、また研究者として誠実かつ熱心であり、大学院課程における研鑽や取得単位なども併せ申請者が博士 (地球環境科学) の学位を受けるのに十分な資格を有するものと判定した。