

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 12 日現在

機関番号：17301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24780190

研究課題名(和文) アミノ酸と栄養塩の同位体マーカーを組合わせた近海魚類の摂餌・行動生態解析法の確立

研究課題名(英文) The use of bulk and compound specific isotopes of nutrients and organisms to estimate the feeding and swimming behavior of the coastal fishes

研究代表者

梅澤 有 (UMEZAWA, Yu)

長崎大学・大学院 水産・環境科学総合研究科・准教授

研究者番号：50442538

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：パイオロギングによって、対象海域内での遊泳行動が特定されているヒラメ、および各海域の懸濁態有機物のバルク炭素・窒素安定同位体比($d^{13}C$ ・ $d^{15}N$)とフェニルアラニンとグルタミン酸の $d^{15}N$ 分析を組み合わせ解析を行った。その結果、長崎近海のヒラメのバルクの同位体比の違いは栄養段階の違いではなく、海域の食物連鎖を支える一次生産者の値を反映していることが示唆された。本研究から、植物プランクトンの $d^{13}C$ ・ $d^{15}N$ 値が空間的に大きく異なる沿岸海域において、近海魚類のバルクの同位体比は、魚類の遊泳行動(索餌行動)範囲を反映するものとして利用できる可能性が高いことが示された。

研究成果の概要(英文)：Stable carbon and nitrogen isotopes ($d^{13}C$, $d^{15}N$) in the muscle tissues of the Japanese flounders, the movement of which had been identified based on the high-frequency depth data loggers, were analyzed and interpreted with $d^{13}C$ & $d^{15}N$ in particulate organic matter (POM) collected around Nagasaki and $d^{15}N$ in specific amino acids (phenylalanine and glutamic acid) in the same muscle tissues. It was suggested that the difference of bulk isotopes in the flounders reflected the values of primary producers supporting the food web, rather than the difference of the trophic levels among the flounders targeted. This study successfully indicated that the bulk isotopes in the coastal fishes can be used as one of good indicator to identify their swimming and feeding behaviors at the coastal areas with spatial variation of $d^{13}C$ and $d^{15}N$ in primary producers.

研究分野：農学

科研費の分科・細目：水産学・水産学一般

キーワード：アミノ酸同位体 バルク同位体 近海魚類 生態・行動

1. 研究の背景

日本近海で漁獲対象種となる魚類の産卵場や、仔稚魚期から未成魚期にかけて生息する海域は、沿岸域の砂浜や藻場(シログチ・ヒラメ等)、縁辺海等の陸棚縁辺部(マアジ・スルメイカ等)、外洋域(マイワシ・マサバ)というように、魚種によって大きく異なる。近年、浅海域の埋め立て、陸域からの流入負荷の増加、温暖化等の地球規模での気候変動に伴う海水温や海流の変動が、生息場の減少や一次生産を支える栄養塩供給量の変化をもたらすため、これらの魚類が従来の食物連鎖構造や行動生態を維持できず、資源量の変動に大きく影響していることが考えられる。しかしながら、魚種分布の時空間変動が大きく、限られた曳網調査の結果からでは、各種魚類生態系に起きている変化の兆しを速やかに読み取ることが困難であった。

魚類の筋肉全体の窒素安定同位体比(バルクの $\delta^{15}\text{N}$ 値と、食物連鎖の起源となる無機態窒素(硝酸やアンモニア)の $\delta^{15}\text{N}$ 値の差は、食物連鎖構造(栄養段階)の数を示しており、湖沼生態系では、外来魚種の侵入や、感染症等に伴うキーストーン種の減少による生態系攪乱(食物網変化)を簡便に示すツールとして利用される(Fry 2006)。しかしながら、海域生態系では、仔稚魚が生育に伴って生息場を大きく変えることや、回遊する移動距離も大きいこと、食物網の起源となる無機態窒素の $\delta^{15}\text{N}$ 値を1つに決定することができない。また、T-S ダイアグラムなどから、海域に流入する水塊(河川水や外洋底層水など)の寄与が、季節や気候変動(降水量や黒潮の蛇行等)に影響されて時空間変動が大きいことが知られているように、一次生産者に利用される栄養塩の $\delta^{15}\text{N}$ (=一次生産者が持つ $\delta^{15}\text{N}$ 値)も大きく変動する。そのため、魚類のバルク $\delta^{15}\text{N}$ 値の変動がみられても、その変動が一次生産者の利用する栄養塩の変動を反映しているのか、もしくは、栄養段階(食物網を構成する生物種)の変化を反映しているのかわからず、生態系構造を正しく読み取ることが困難であった。

一方で、生体内で個々のアミノ酸が固有の代謝過程を持つことから、対象とする動物に含まれる特定のアミノ酸には、栄養段階の上昇に伴って $\delta^{15}\text{N}$ 値が大きく上昇していくアミノ酸種(例えばグルタミン酸やアスパラギン酸など)と、栄養段階が上昇しても $\delta^{15}\text{N}$ 値の変動が小さいアミノ酸種(例えばフェニルアラニンやグリシンなど)が存在する。そのため、これらのアミノ酸の持つ $\delta^{15}\text{N}$ 値の差($\delta^{15}\text{N}$)から、海域を含む生態系で正確に栄養段階を把握する報告がなされてきている(McClelland & Montoya

2002; 力石 他 2010)。

そこで、図1に示すように、バルクの $\delta^{15}\text{N}$ 値に差がある同一魚類で、かつ、アミノ酸の持つ $\delta^{15}\text{N}$ 値の差($\delta^{15}\text{N}$)に変動がない場合には、その値の違いは、食物網(摂餌生物)の違いではなく、食物網の底辺を支える一次生産者の窒素源の違い(ある場所の栄養塩供給メカニズムの変化や、魚の摂餌行動海域の変化)に由来すると考えられる。一方で、バルクの $\delta^{15}\text{N}$ 値に差がある同一魚類で、かつ、アミノ酸の持つ $\delta^{15}\text{N}$ 値の差($\delta^{15}\text{N}$)に変動がある場合には、反対に、一次生産者の窒素源の違いよりむしろ、摂餌生物の違いに由来するという解釈が出来る可能性がある。

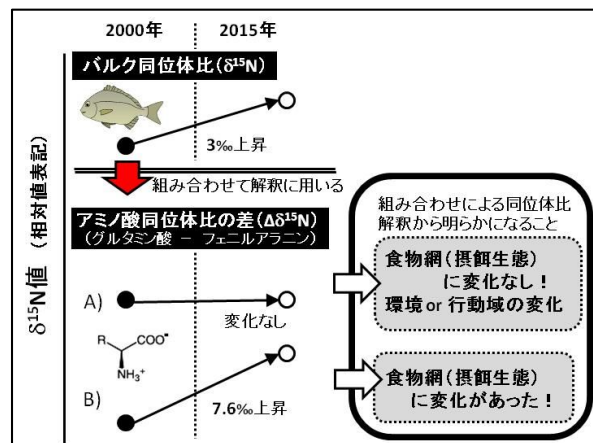


図1: 同位体比の利用法の概念

2. 研究の目的

長崎県の主要な水産有用魚類の1つであるヒラメを対象として、試料の測定が容易である筋肉のバルクでの炭素・窒素安定同位体比($\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$)の違いが、ヒラメの生息海域に応じて異なっているかどうか調べると共に、 $\delta^{13}\text{C}$ と $\delta^{15}\text{N}$ が、ヒラメの摂餌生息範囲を明らかにするための有効な指標として利用できるかどうか検証することを目的とする。

3. 研究の方法

1) 異なる遊泳海域を持っていることが、パイオロギング調査によって明らかとなっているヒラメを、共同研究者(長崎大学 大学院 水産・環境科学総合研究科 河邊玲教授)から譲り受け、魚類試料の筋肉全体(バルク)の $\delta^{13}\text{C}$ ・ $\delta^{15}\text{N}$ 値の解析を行い、遊泳海域に応じたバルクの安定同位体比の違いの有無を明らかにする。

2) バルクの $\delta^{15}\text{N}$ 値が異なることがわかったヒラメ試料について、各種アミノ酸の $\delta^{15}\text{N}$

値を分析し、生息環境に応じた正確な栄養段階を明らかにする。さらに、バルクの $\delta^{15}\text{N}$ 値の違いが、摂餌海域の一次生産者の同位体比の違い、もしくは、摂餌生物の栄養段階の違いに起因するものが明らかにする。

3) 対象とするヒラメの生育海域における植物プランクトンの $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ 値の空間分布図を作成し、ヒラメの $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ 値の変動が、一次生産者の炭素・窒素源の違いに由来すると考えられる場合の、整合性を確かめる。

4) 漁で漁獲されたヒラメの $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ 値を分析し、本研究で確立した解釈を利用して、近海魚類の摂餌・行動生態の解析を行っていく。

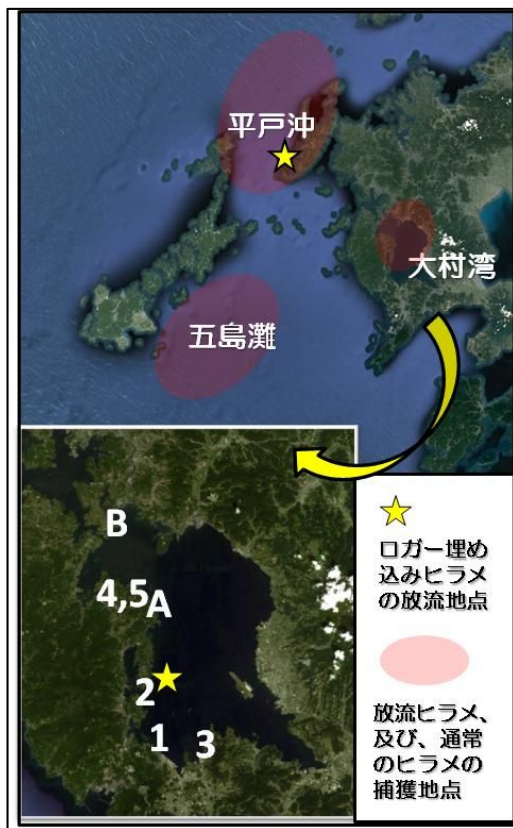


図2: 本研究で用いた、ロガー記録ヒラメの放流地点と、ロガー記録ヒラメ及び、通常のヒラメの捕獲地点

4. 研究成果

バイオリギングによって遊泳海域が特定されている平戸沖回遊魚のバルク $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ 値は ($\delta^{13}\text{C} = -16.0 \pm 0.2$, $\delta^{15}\text{N} = 13.5 \pm 0.1$) と、大村湾回遊魚のバルク $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ 値 ($\delta^{13}\text{C} = -15.4 \pm 0.3$, $\delta^{15}\text{N} = 15.5 \pm 0.5$) では、特に $\delta^{15}\text{N}$ 値に大きな違いが見られた。また、平戸沖と同様に湾外の外洋域に位置する五島灘沖で捕獲された個体は、大村湾内の回遊魚に近い値 ($\delta^{13}\text{C} = -15.2 \pm 0.2$, $\delta^{15}\text{N} = 14.8 \pm 0.6$) であった (図3、図4上)。このことから、

平戸沖回遊魚は 1)他と比べて栄養段階の低い餌を食べているか、2)各海域の食物連鎖を支える一次生産者の値の違いを反映していることが想定された。

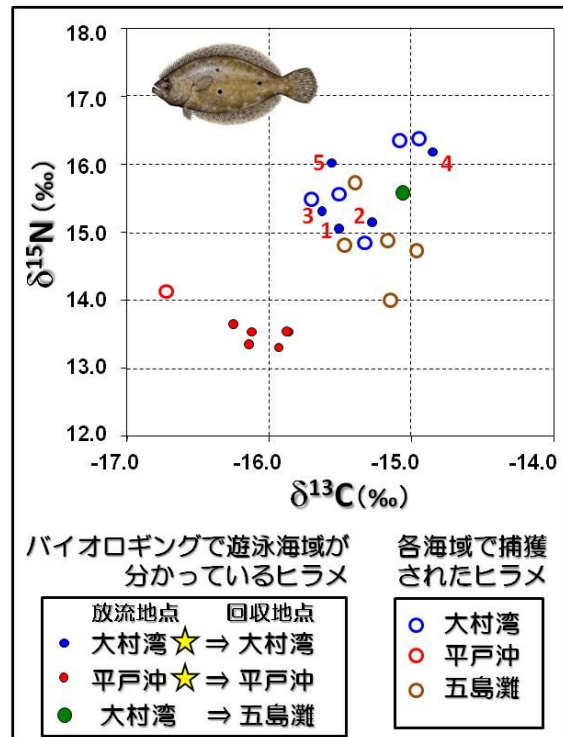


図3: ヒラメの個体別の炭素・窒素安定同位体比

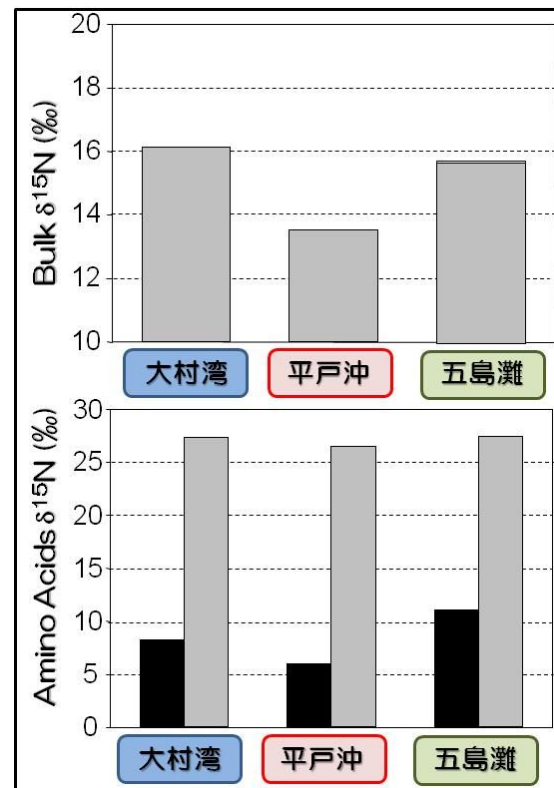


図4: 各海域のヒラメのBulkとアミノ酸同位体比

そこで、この要因について明らかにするために、同一のヒラメ試料のアミノ酸分析を行ったところ、フェニルアラニンとグルタミン酸の $\delta^{15}\text{N}$ 値は、平戸沖回遊魚で($\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}} = 5.1 \pm 1.2$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Glu}} = 27.3 \pm 1.1$)、大村湾回遊魚で($\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}} = 7.5 \pm 1.1$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Glu}} = 27.2 \pm 0.2$)、五島灘捕獲魚で($\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}} = 8.8 \pm 3.2$, $\delta^{15}\text{N}_{\text{Glu}} = 27.3 \pm 0.3$)であった(図4)。

ここで、アミノ酸による栄養段階算出の経験式($\text{ATL} = \delta^{15}\text{N}_{\text{Glu}} - (\delta^{15}\text{N}_{\text{Phe}} + 3.4) / 7.6 + 1$)に代入して、各海域を回遊していたヒラメの栄養段階を求めると、平戸沖回遊魚、大村湾回遊魚、五島灘捕獲魚それぞれ、3.5、3.1、3.3という値が得られた。このことから、1)の仮説は棄却され、長崎近海のヒラメのバルクの同位体比の違いは栄養段階の違いではなく、海域の食物連鎖を支える一次生産者の値を反映していることが示唆された。このことは、海域のクロロフィル極大層の懸濁態有機物($\text{POM}_{\text{Chl.max}}$: 植物プランクトンを代表するものと仮定)の $\delta^{15}\text{N}$ 値が、大村湾内より湾外で低い値を持っていることと矛盾しなかった(図5)。

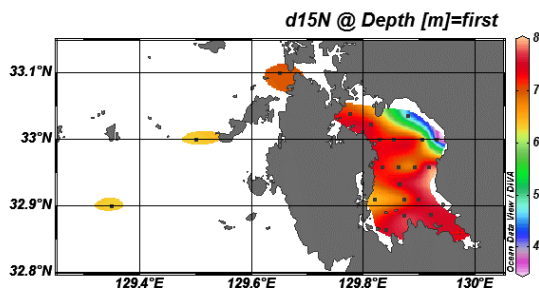


図5:大村湾周辺海域のPOMの $\delta^{15}\text{N}$ 値

一方で、 $\text{POM}_{\text{Chl.max}}$ の $\delta^{13}\text{C}$ 値は、大村湾内より湾外で高い値を持っており(図6)、ヒラメの値の傾向とは異なっていた。このことから、植物プランクトンよりも高い $\delta^{13}\text{C}$ 値を持つ大型藻類を捕食する藻食性魚類も、大村湾のヒラメの餌として利用されている可能性を示唆していた。ヒラメにつながる食物連鎖網の底辺を支える一次生産者として、大村湾内では、大型藻類 草食性魚類 ヒラメ、大村湾外で植物プランクトン 動物プランクトン 小型魚類 ヒラメ、という連鎖が優占するという仮説は、アミノ酸の $\delta^{15}\text{N}$ 値から推定されたヒラメの栄養段階が、平戸沖回遊魚では3.5となり、大村湾回遊魚で3.1となったこととも矛盾しなかった。

大村湾で放流されたにも関わらず、五島灘沖で回収されたヒラメは、バルクの $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ 値は大村湾回遊魚の値に近くなり、推定される栄養段階は、大村湾回遊魚と平戸沖回遊魚の中間的性質を持っていた。このことは、このヒラメが長い期間、大村湾で成長し、そ

の後、五島灘沖に移動していったことが推定される。実際に、漁船によって五島灘沖で捕獲されたヒラメのバルクの $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ 値($\delta^{13}\text{C} = -15.2 \pm 0.2$, $\delta^{15}\text{N} = 14.8 \pm 0.6$)は、平戸沖回遊魚とは異なり、大村湾回遊魚の値と類似していたことから、五島灘近海のヒラメは、平戸沖ではなく大村湾で育ったヒラメによって供給されていることが推定される。五島灘沖は良い漁場として知られているが、大村湾がヒラメの有力な生育場として機能している可能性がある(cf. Yasuda et al., 2010)。

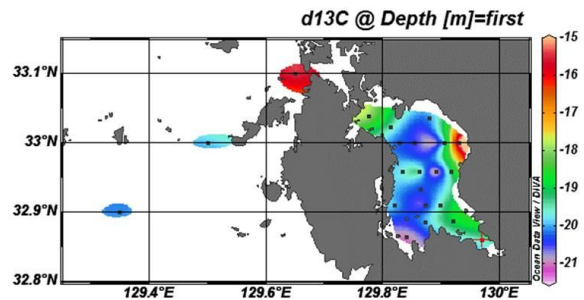


図6:大村湾周辺海域のPOMの $\delta^{13}\text{C}$ 値

本研究では、ヒラメの筋肉のアミノ酸の $\delta^{15}\text{N}$ 値とバルクの $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ 値を組み合わせた解析を行うことで、ヒラメのバルクの同位体比の違いが、ヒラメの遊泳行動(索餌行動)範囲を反映するものに起因するものと判断することができたほか、この遊泳範囲の違いが、ヒラメにつながる食物網の違いにも影響している可能性を示唆していた。このことは、ヒラメの食味の違いにも影響を及ぼしている可能性があるため、食味の違いが生じた要因を解明していく研究につながる可能性もある。今後は、漁獲されて市場で売られているヒラメであっても、バルクの $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ 値を調べることができると考えられる。

本研究の結果、食物網を支える一次生産者の $\delta^{13}\text{C} \cdot \delta^{15}\text{N}$ 値が空間的に大きく異なる沿岸海域において、近海魚類のバルクの同位体比は、魚類の遊泳行動(索餌行動)範囲を反映するものとして利用できる可能性が高いことが示された。

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)

〔雑誌論文〕(計1件)

Umezawa Y., Yamaguchi, A., Ishizaka, J., Hasegawa, T., Yoshimizu, C., Tayasu, I., Yoshimur, H., Morii, Y., Aoshima, T., and Yamawaki, N.: Seasonal shifts in

the contributions of the Changjiang River and the Kuroshio Current to nitrate dynamics in the continental shelf of the northern East China Sea based on a nitrate dual isotopic composition approach, *Biogeosciences*, 11, 1297-1317,

doi:10.5194/bg-11-1297-2014, (2014)

査読有

[学会発表](計2件)

Umezawa Y, Tamaki A, Kiyama K, Hiramatsu D, Suzuki T, Somiya R, Matsuo H, Okamura K, Yoshimizu C and Tayasu I "Food source and habitat conditions of the larvae of the ghost shrimp *Nihonotrypaea harmandi*, estimated based on stable isotopes analysis of bulk and amino acids" Ocean Science Meeting, Honolulu, USA, 28 February, 2014.

Goto, H., Umezawa, Y., Amano, M., Yoshimizu, C., and Tayasu, I., "Diet and behavior of finless porpoises, in Western Kyushu, Japan, based on stable isotopes analyses of bulk and amino acids". Ocean Science Meeting, Honolulu, USA, 28 February, 2014.

6 . 研究組織

(1)研究代表者

梅澤 有 (UMEZAWA YU)

長崎大学・大学院 水産・環境科学総合研究科・准教授

研究者番号：50442538

(2)研究協力者

河邊 玲 (KAWABE RYO)

長崎大学・大学院 水産・環境科学総合研究科・教授

研究者番号：80380830