

安定同位体比を用いたウナギ幼生の餌料環境と

親魚の生態に関する研究

2008年3月 自然環境学専攻 学籍番号 66731 宮崎幸恵
指導教員 木村伸吾 教授

キーワード：ウナギ、安定同位体、北赤道海流 (NEC)、幼生、懸濁態有機物 (POM)

1. はじめに

ウナギ (*Anguilla japonica*) の産卵場は北赤道海流域 (NEC) にある。そこで孵化した幼生は NEC と黒潮によって日本沿岸へ輸送される。NEC 内で幼生は 40mm 以上に成長することが知られているが、幼生の食性については過去 40 年以上に及ぶ様々な研究努力にも関わらず現在でもはっきりとは解明されていない。また、河川で成長後、産卵場へ向かう成魚の摂餌や行動生態についてもほとんど分かっていない。そこで、本研究では成魚の産卵回遊から仔魚の生残に至る再生産過程を餌料環境の変化から解明するために、安定同位体比分析という新たな手法を用いることで、(1) NEC 域における幼生の餌料環境について検討すること、(2) 産卵回遊前の汽水域、沿岸に生息する成魚 (黄ウナギ、銀ウナギ) の生態に関する新たな知見を得ることを目的とした。

2. 調査海域、試料採集および分析方法

西部 NEC (125-145° E、10-20° N) 域において、学術研究船白鳳丸航海により、ウナギ幼生、動物プランクトン (カイアシ類、フィロゾーマ幼生) を大型 ORI ネットと IKMT ネットで採集した。また比較のために、同じウナギ目の *A.marmorata*、*Ariosoma* sp.、*Uropterygiinae* の幼生も採集した。懸濁態有機物 (POM) は水深 100m、150m で採水した海水を熱処理した GF/F フィルターで濾過して得た。この海域での動物プランクトンの種組成を把握するため、NORPAC Twin ネットによる採集を行った。また、137° E、140° E では CTD による海洋観測も行った。

ウナギ成魚 (銀ウナギ、銀化ステージ S1/S2、黄ウナギ Y1/Y2) を浜名湖と児島湾およびそれぞれの流入河川で採集した。児島湾では成魚の餌と考えられているアナジャコ (*Upogebia major*) も採集した。成魚は筋肉、肝臓、メスの生殖巣を必要量切離し試料とした。また養殖のウナギ、卵、幼生は (株) いらご研究所にて飼育されていたものを用いた。

安定同位体比分析用の全ての試料は分析まで -80°C で保存した。分析前に、動物プランクトンとウナギ成魚は脱脂処理を行い、POM は炭酸塩除去のための塩酸処理を行った。炭素と窒素の安定同位体比は元素分析計付き質量分析計で測定した。同位体比は標準物質に対する千分率 ($\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$) で示した。さらに本研究では 2002、2004、2005 年の白鳳丸航海で採集された孵化直後の個体を含む幼生と韓国沿岸で採集された成魚の安定同位体比の結果も用いた。

3. 結果および考察

幼生と POM の $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ の関係 (右図) は一般的にいわれている捕食者と餌の関係 (餌に比べて捕食者の $\delta^{15}\text{N}$ は 3.4‰、 $\delta^{13}\text{C}$ は 1.1‰増加) とほぼ一致し、養殖幼生と人工餌料の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ についてもこの関係性が認められたことから、POM が幼生の主要な餌のひとつであることが示された。また、すべての年で採集された幼生 (全長 8.5~38.3mm) の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ は体長によらずほぼ同じ値を示し、経年的な違いも認められなかったため、NEC での輸送期間中の幼生は食性を変化させていないものと考えられた。また、ウナギ目幼生の同位体比も、*Ariosoma* sp. を除いてほぼ等しい値になった。このことより、NEC 内ではウナギを含む 3 種がほぼ同じ食性を持つことが分かった。

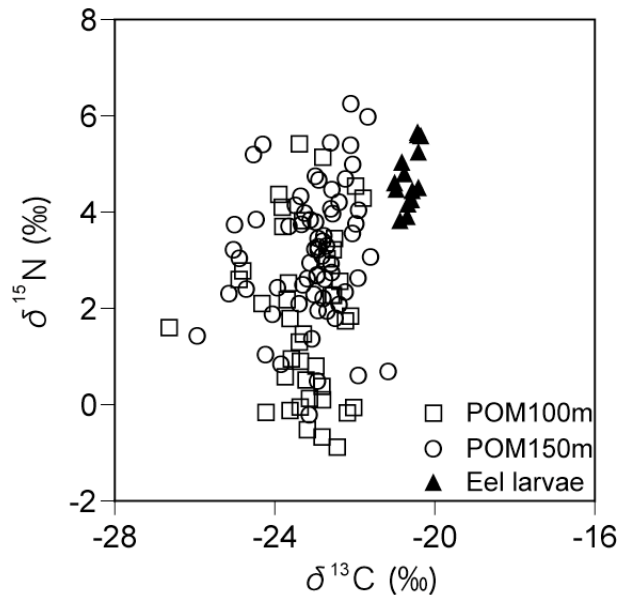
POM の同位体比の海域、期間による差は認められなかったが、水深 100m では $\delta^{15}\text{N}$ が 0‰以下の値を示す測点が多くあった。これは、この海域では窒素固定が盛んに行われており、POM の一部は窒素固定を行っている生物によって構成されていることを示している。

なお、NEC 域における動物プランクトンの種組成はカイアシ類が最も優占し、とくにカラヌス目が全ての測点で優占していたが、幼生とカイアシ類の同位体比の比較と生態学的な知見から、両者の間に被食-補食といった直接的な関係性は見い出せなかった。

児島湾のウナギ成魚はアナジャコと比較して $\delta^{15}\text{N}$ が約 7‰高い値を示した。これは、アナジャコが成魚の主要な餌ではないことを示唆している。また、特徴的な体色 (薄灰色) を持つ児島湾のウナギは、同じステージの流入河川で採集されたウナギに比べ $\delta^{15}\text{N}$ が高い傾向を示したことから、これは食性の違いを反映しているものと推察された。

浜名湖のウナギの $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ の変動は、採集場所、性別および発育段階において差違が見られた。場所による違いは、集団によって食性が異なること、性別による違いは、メスがオスに比べて一般的に大きく、同じステージでも年齢が高い傾向があるため、より多様な摂餌が可能であること、そしてステージによる違いは、銀ウナギでは消化管の退縮が起こるため、摂餌を行わないことが影響していると推測できる。

浜名湖、児島湾、韓国の成魚と NEC で採集された孵化後直後の幼生の $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ を比較したところ、 $\delta^{13}\text{C}$ は韓国、 $\delta^{15}\text{N}$ は浜名湖の銀ウナギが幼生と最も近い値をとった。また養殖の親魚、卵、幼生の安定同位体比はほぼ同じ値となったことから、東アジア沿岸で成長した成魚が NEC 域まで産卵回遊を行い、そこで産卵を行っている可能性が示唆された。



図：ウナギ幼生と POM の安定同位体比

Studies on diet environment of the Japanese eel larvae and their adults using stable isotope analyses

March 2008 Department of Natural Environmental Studies 66731 MIYAZAKI Sachie
Supervisor ; Professor KIMURA Shingo

Keywords : Japanese eel, stable isotope analyses, North equatorial current(NEC), larvae, particulate organic matter(POM)

1. Introduction

The spawning area of Japanese eel (*Anguilla japonica*) was discovered in the North equatorial current(NEC). Larvae transported by the NEC and Kuroshio arrive estuaries of the East Asia in winter. In the NEC, larvae grow to more than 40mm as leptocephali. However, the diet of eel larvae is not clear despite that many researchers have investigated over the past 40 years. Moreover, little is known about the diet and behavior of adults eels migrating to the spawning ground after grew in river. In the present studies, to understand the mechanisms of eel's reproduction in terms of diet shift, field observation in the NEC and coastal regions in addition to laboratory experiments by use of the new insight of stable isotope analyses were conducted to reveal (1) the diet environment of eel larvae, and (2) ecology of adults (yellow and silver eels) inhabiting in estuary waters before migrating to the spawning ground.

2. Study area, Materials and Methods

For stable isotope analysis, on research cruises *R/V Hakuho-maru* in 2006 and in the western NEC (125-146 ° E, 10-20 ° N), Japanese eel larvae together with Anguilliformes larvae including *A. marmorata*, *Ariosoma* sp., and *Uropterygiinae* and zooplankton (copepoda and phyllosoma) were collected with large sized ORI net and IKMT net. Particulate organic matter (POM) were filtered onto precombusted glass-fiber filters from sampledwaters at depths of 100m and 150m. For clarifying the composition of zooplankton in the NEC, NORPAC Twin net sampling was conducted in both years. Hydrographic observations with CTD were also made in 137° E, 140° E in 2006.

Adult eels (silver [stage S1, S2] and yellow eels [Y1, Y2]) were captured in Lake Hamanako, Kojima Bay and several inflow river. In Kojima Bay, *Upogebia major*, which seem to be the main diet of adult eels, were also collected. Stable isotope analyses were made for each part of adults body (muscle, liver and female gonad). Cultured eels, eel's egg and larvae were sampled at Irigo Institute Co., Ltd.

All samples for stable isotope analyses were preserved in -80°C until analyses. Before the analyses, zooplankton and adult eels removed lipid, and POM were saturated with 1M HCl to eliminate carbonates. Stable isotope ratios of carbon and nitrogen were measured with a mass spectrometer coupled with an element analyzer. Isotope ratios, $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$, are expressed as per mil deviations from the standard. Results of stable isotope ratio for larvae collected in 2002, 2004 and 2005 by *R/V Hakuho-maru* and adults eels collected in estuary of Korea, were also used in the

discussion.

3. Results and Discussion

As shown in the figure, $\delta^{13}\text{C}$ vs $\delta^{15}\text{N}$ plots of larvae and POM were approximately consistent with the typical relationship between diet and predator, which is known 3.4 ‰ and 1.1 ‰ enrich of nitrogen and carbon isotopes, respectively. This relationship was also recognized between cultured larvae and their diet. Therefore, it is strongly suggested that POM are one of the major diet of Japanese eel larvae. The $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of all larvae with total length of 8.5~38.3mm, showed little difference, and did not relate to total length or observational year. This results indicate that larvae transported in the NEC ingest similar diet. The $\delta^{13}\text{C}$ - $\delta^{15}\text{N}$ diagram of

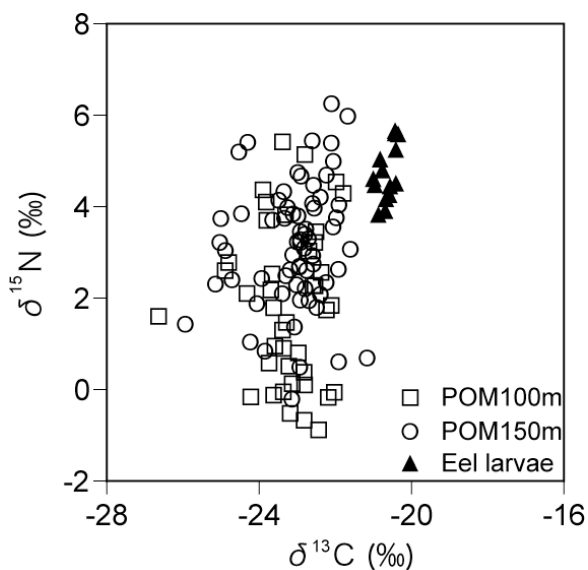


Figure : $\delta^{13}\text{C}$ vs $\delta^{15}\text{N}$ plots of eel larvae and POM

Japanese eel larvae and Anguilliformes showed the same values without *Asiosoma* sp. This suggests that three species of Anguilliformes are ingested the same diet in the NEC.

The $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of POM seem to have no difference in sampling time and location. However, $\delta^{15}\text{N}$ POM of at 100m depths showed below 0‰. This means that nitrogen fixation in this area is active, and that POM consists of nitrogen-fixing organism.

Despite the zooplankton composition suggested that copepoda particularly Calanoida was dominant in the NEC, stable isotope results and biology information suggested that larvae and copepoda were indirect relationship between prey and predator.

In Kojima Bay, high $\delta^{15}\text{N}$ of 7‰ of adult eel compared with *Upogebia major* was recognized. This results indicate that *Upogebia major* are not the main diet of eel. The adult eels in Kojima Bay, which have light gray in the body at yellow eel stage, had high $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ compared with those at the same stage, inhabiting in rivers which flow into Kojima Bay. This is probably due to difference of their diets.

Variation of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ were different in sampling location, sex and stage. Difference in location is affected by different diet environment of population. Female generally grows to large size than male at the same stage, which allows female to consume a variety of diets. Difference in stage may be caused by fasting degenerative changes in the gut in silver eel stage.

$\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ of the adults eels collected in Lake Hamanako, Kojima Bay and Korea were compared with two days old larvae in the NEC. $\delta^{13}\text{C}$ in Korea and $\delta^{15}\text{N}$ in silver eels in Lake Hamanako showed the most similar value. The relationship among stable isotope ratios of cultured larvae, egg, and the adults showed the similar values. Accordingly, it is likely that eels growing in estuaries of the East Asia migrate to the spawning area in the NEC.