

霞ヶ浦における動物プランクトン・魚類仔稚魚のRNA : DNA比

岩崎 順・久保田次郎・石川弘毅

RNA : DNA ratios of zooplankton and fish larvae
in Lake Kasumigaura

Jun IWASAKI, Jiro KUBOTA and Kohki ISHIKAWA

Abstract

In this study, we investigated RNA and DNA contents of zooplankton, river prawn and fish larvae collected in the coastal area of Lake Kasumigaura, and calculated RNA / DNA of these organisms.

The median of RNA content was large in order of pond smelt, zooplankton (copepoda), gobies (trident goby and folk - tongue goby) and river prawn. The median of DNA content was large in order of zooplankton, gobies, river prawn and pond smelt. The median of RNA / DNA was large in order of pond smelt, gobies, river prawn and zooplankton. It means that the organism in the higher trophic level has the larger RNA / DNA.

Between RNA / DNA of pond smelt and RNA / DNA of gobies, the negative correlation ($Y = -0.259X + 6.031$, $r^2 = 0.616$) was recognized. It means that the food - environment which is good for pond smelt and the food - environment which is good for gobies are quite different.

Key words : Lake Kasumigaura (霞ヶ浦), zooplankton (動物プランクトン), fish larvae (魚類仔稚魚), RNA : DNA ratio (RNA / DNA)

1. はじめに

霞ヶ浦の漁獲量が最盛期の1/4以下になっている現在、有用魚類資源の増殖・放流技術の開発研究が重要になってきている。その際、放流魚の発育過程の把握や天然採集魚の生理状態の把握が求められてくる。従来、魚の形態的变化や生態的变化については多くの研究例があるが、生理的变化についてはほとんど検討されてこなかった。このような中で最近、RNAやDNAの核酸分析を通じて、発育過程の解明、成長の推定、自然界での採集魚の生理状態の把握などの試みが成されている。

DNA (デオキシリボ核酸) は細胞中の核に含まれ、遺伝子の本体そのものである。細胞当たりのDNA量は

一定で、飢餓やストレスを受けても変化しないことが知られている。したがって、DNA量は、与えられた組織中に含まれる細胞数の指標となる。RNA (リボ核酸) は核や細胞質中に含まれ、核に含まれるDNAの遺伝情報を細胞質中に伝え、新たなタンパク質の合成に関与している。活力のあるタンパク質合成が活発な組織ではRNA量が多く、飢餓等の悪条件ではRNA量が少ないなど、条件によって著しく変化する。このことから、RNA量のDNA量に対する比 (RNA / DNA) は、生理状態を知るよい指標であると考えられる。

ここでは、霞ヶ浦湖岸域で採取された動物プランクトン、テナガエビ、魚類仔稚魚のRNA / DNAの分析結果を報告する。あわせて、湖岸域における魚類仔稚魚

の微細分布調査と魚類仔稚魚～未成魚の生産構造調査も行ったので、その結果も報告する。

2. 試験方法

試料は、1996年5月7日から7月29日にかけて採取した。すなわち、動物プランクトンは、茨城県内水面水産試験場（内水試）の研究棧橋の先端付近（距岸距離100m、水深約3.5m）で北原式定量ネット（NXX13；目合い94 μ m、口径21.5cm）を湖底上1mの層から湖面

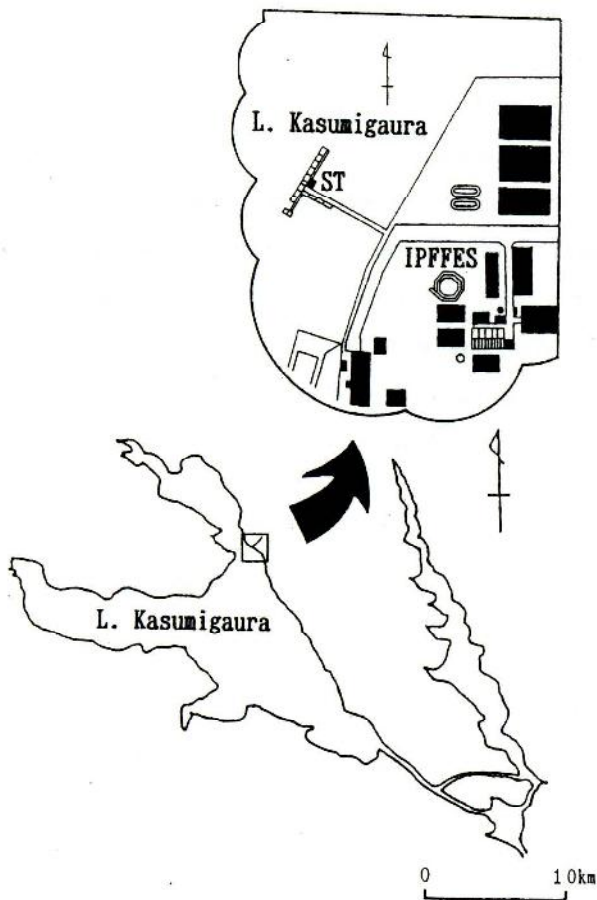


Fig.1 Sampling station in Lake Kasumigaura. Zooplankton was collected at the pier of Ibaraki Prefectural Freshwater Fisheries Experimental Station (IPPFES). River prawn and fish larvae were collected at the neighboring aquatic - plant zone.

図1 霞ヶ浦における調査地点。
動物プランクトンは茨城県内水面水産試験場（IPPFES）の棧橋で採集された。テナガエビと魚類仔稚魚は付近の水生植物帯で採集された。

まで垂直曳きして採取した（Fig.1）。また、テナガエビ、魚類（チチブ★、ウキゴリ、ワカサギ）仔稚魚は、同棧橋あるいは付近の水生植物帯（ヨシ主体）周辺で、投網（目合い0.5cm）により採取した。これらの試料は、採取後直ちに-20℃の冷凍庫で凍結保存した。RNA・DNAの定量分析は、Buckley（1979）に従って行った（Fig.2）。

上記試料の採取と平行して、1996年6月4日から7月22日にかけて、内水試棧橋の基部から先端部沖合60mに設けた9定点で投網による魚類仔稚魚の定量採集を行った。投網3回分をもって、1試料とした。

また、チチブ、ウキゴリ、ワカサギ仔稚魚～未成魚の餌環境を把握するために、霞ヶ浦湖岸域で魚類生産構造を調査した。すなわち、1998年7月21日午前9時前後に玉造町浜地先で、投網・抄い網による魚類採集を行った。採集物は漁獲後ただちに10%水溶液になるように中性ホルマリン原液を加えて固定し、体長・体重を測定した後、消化管内容物の観察を行った。消

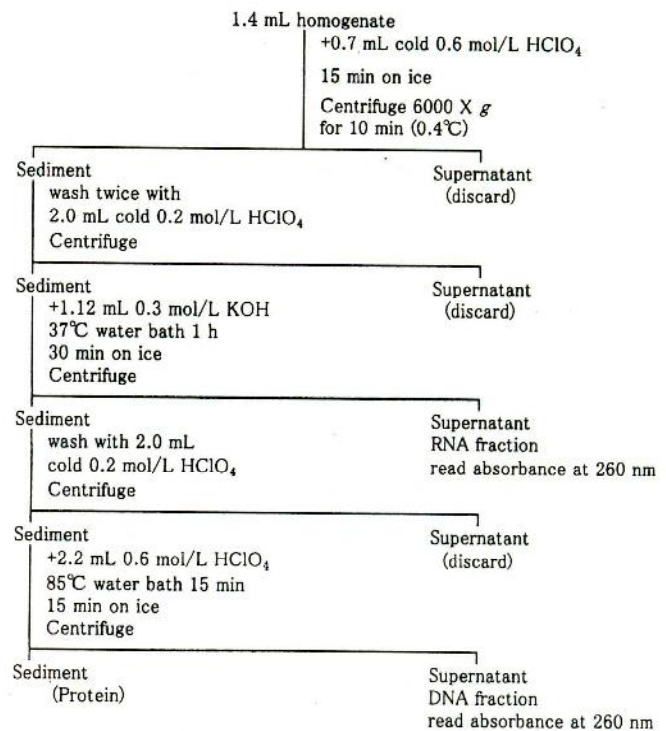


Fig.2 Procedure for estimating RNA and DNA in fish larvae.

図2 魚類仔稚魚のRNA、DNA測定方法。

★ 霞ヶ浦における該当種はヌマチチブと同定されているが、本報では便宜上チチブと表記する。

化管内容物の観察では、胃内容物重量を測定した後に実体顕微鏡下で科・属レベルの同定を行った。また、胃内容物観察の補強のために、腸管内容物もあわせて観察した。

3. 結果

(1) 動物プランクトン、テナガエビ、魚類仔稚魚の RNA / DNA

RNA量のレンジは、動物プランクトン（主にコペポダ）(143.7~667.2)、ワカサギ (241.0~702.2) で大きく、テナガエビ (150.2~310.6)、ゴロ (=チブ+ウキゴリ) (245.3~472.8) で小さかった (Fig. 3)。中央値は、ワカサギ、動物プランクトン、

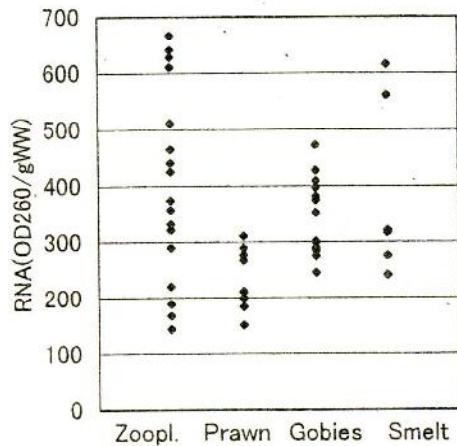


Fig.3 RNA content of zooplankton, river prawn and fish larvae.

図3 動物プランクトン、テナガエビ、魚類仔稚魚のRNA量。

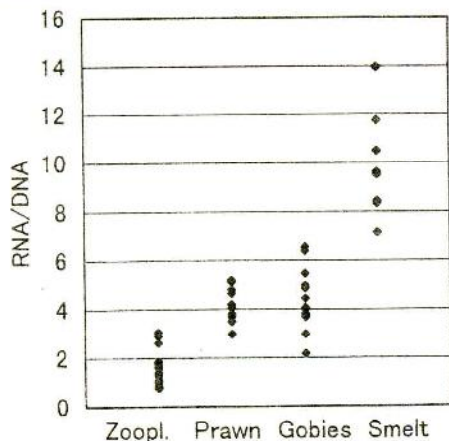


Fig.5 RNA : DNA ratio of zooplankton, river prawn and fish larvae.

図5 動物プランクトン、テナガエビ、魚類仔稚魚のRNA / DNA。

ゴロ、テナガエビの順で大きかった。

DNA量のレンジは、動物プランクトン (77.2~621.7) で顕著に大きく、ゴロ (45.3~131.0)、ワカサギ (23.0~73.1)、テナガエビ (29.0~70.2) で小さかった (Fig. 4)。中央値は、動物プランクトン、ゴロ、テナガエビ、ワカサギの順で大きかった。

RNA / DNAのレンジは、ワカサギ (7.2~14.0) で大きく、ゴロ (2.2~6.6)、テナガエビ (3.0~5.1)、動物プランクトン (0.8~3.1) で小さかった (Fig. 5)。中央値は、レンジ同様、ワカサギ、ゴロ、テナガエビ、動物プランクトンの順で大きく、食物段階の高い位置にある生物ほど大きくなる傾向が認められた。

ワカサギのRNA / DNAとゴロのRNA / DNAの間に

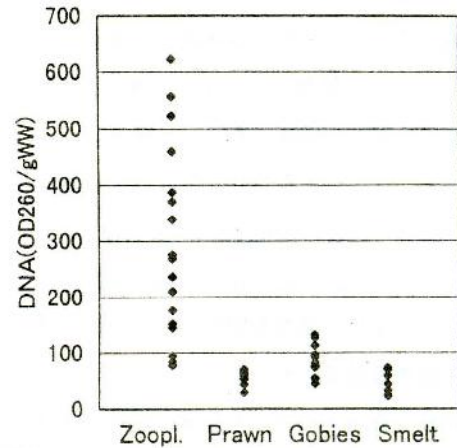


Fig.4 DNA content of zooplankton, river prawn and fish larvae.

図4 動物プランクトン、テナガエビ、魚類仔稚魚のDNA量。

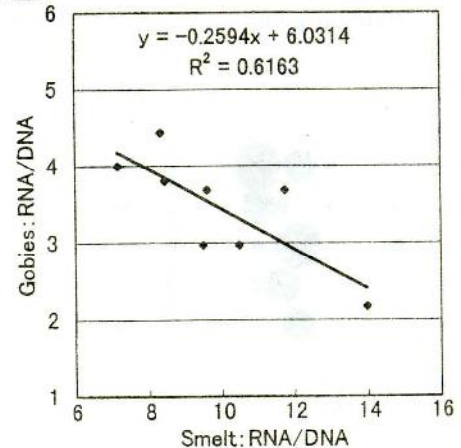


Fig.6 Relationship between RNA : DNA ratio of pond smelt and RNA : DNA ratio of gobies.

図6 ワカサギのRNA / DNAとゴロのRNA / DNAとの関係。

は、負の相関関係 ($Y = -0.259X + 6.031$, $r^2 = 0.616$) が認められ (Fig. 6), ワカサギ稚魚の成長により餌環境等とゴロ仔稚魚の成長により餌環境等は大きく異なることが示唆された。

(2) 内水試棧橋付近における魚類仔稚魚の微細分布状況

内水試棧橋からその沖合にかけて設けた9定点で採集された試料の内訳を見ると、チチブ・ワカサギの仔稚魚が優占していた。チチブ仔稚魚は6月11日及び7月1日・10日・15日・22日に出現していた (Fig. 7)。特に、7月10日の20m・60m・100m域、7月15日の40m域、7月22日の80m・100m域で10尾以上出現していた。また、調査期間中、120~160m域ではチチブ仔稚魚は確認されなかった。以上から、チチブ仔稚魚は7月中~下旬の20~100m域で顕著に出現する傾向にあったと言える。

一方、ワカサギ稚魚は6月4日・11日及び7月1日・15日・22日に出現していた (Fig. 7)。

特に、7月22日の0m・60m域で10尾以上出現していた。また、調査期間中、120~160m域ではワカサギ稚魚は確認されなかった。以上から、ワカサギ稚魚は7月下旬の0~60m域で顕著に出現する傾向にあったと言える。

7月22日におけるチチブ仔稚魚とワカサギ稚魚の

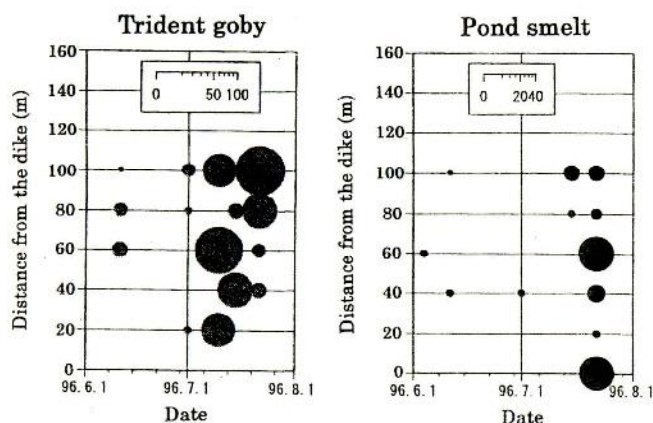


Fig. 7 Occurrence on larvae of trident goby and pond smelt at the pier of IPFFES.

図7 内水試棧橋におけるチチブ、ワカサギ仔稚魚の出現状況。

出現域の関係をみると、チチブ仔稚魚は棧橋の沖合側を中心として、ワカサギ稚魚は棧橋の沿岸側を中心として出現していたことがわかる。

(3) 湖岸域における魚類仔稚魚~未成魚の生産構造

生産構造図は、観察捕食者尾数に対する各被捕食者の割合 (出現率) で作成した。すなわち、観察捕食者数4尾以上の被捕食者については、出現率50%以上を太線、50%未満30%以上を中太線、30%未満を細線で示した。他方、観察捕食者3尾以下の被捕食者については、全て細線で示した。また、体長範囲 (単位: cm) は括弧内に示した。

採集し観察に供した魚類は、ウキゴリ・チチブ・ワカサギ・ハス・ブルーギル・ヨシノボリ・ジュズカケハゼ・タイリクバラタナゴ・テナガエビであった (Fig. 8)。

ウキゴリはイサザアミを、チチブはイサザアミ・ユスリカ・緑藻類・デトライタスを捕食していた。ワカサギはケンミジンコを、ハスは仔魚 (魚種不明) を捕食していた。ブルーギルはシダ科・ケンミジンコ・コペポーダ・デトライタスを、ヨシノボリはユスリカ・介形類・デトライタスを捕食していた。そして、ジュズカケハゼはユスリカを、タイリクバラタナゴは珪藻類・緑藻類・デトライタスを、テナガエビはコペポーダ・デトライタスを捕食していた。

以上から、ウキゴリ・チチブ・ジュズカケハゼはベントス食魚、ワカサギは動物プランクトン食魚、ブルーギル・ヨシノボリ・テナガエビは雑食魚と位置づけることができる。さらに、イサザアミ・ユスリカはデトライタスを、ケンミジンコは植物プランクトンを多く食べる事が分かっている (高村1996)、湖岸域ではデトライタス→イサザアミ・ユスリカ→ウキゴリ・チチブと繋がる腐食食物連鎖 (Detritus food - chain) と、植物プランクトン→ケンミジンコ→ワカサギと繋がる生食食物連鎖 (Grazing food - chain) が存在することが明らかになった。

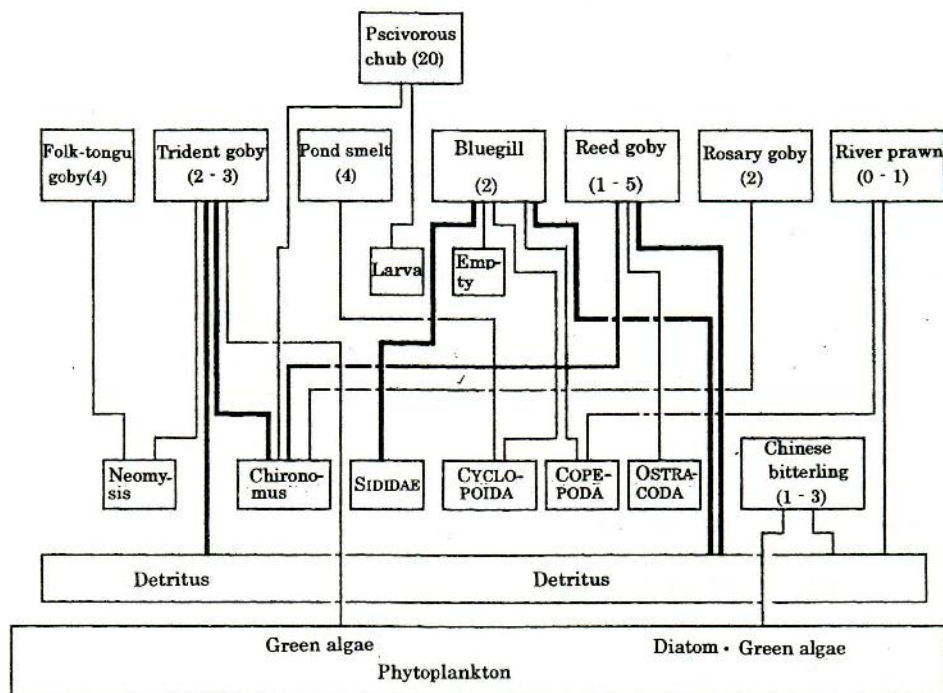


Fig. 8 Production structure of fishes in the lake shore area (the concrete dike) (1998. 7. 21).
 図8 湖岸域（護岸）における魚類生産構造（1998. 7. 21）.

4. 考 察

RNA・DNA分析用動物プランクトン、テナガエビ、魚類仔稚魚の採取と魚類仔稚魚の微細分布調査を行った1996年春・夏季と湖岸域における魚類仔稚魚～未成魚の生産構造調査を行った1998年春・夏季の内水試棧橋における表層水温、溶存酸素量、透明度を比較してみる。前二者の調査は内水試棧橋付近で、後者の調査は玉造町浜地先で行われたが、両地域とも霞ヶ浦高浜入に位置しているため、両地域の水質環境を代表する定点として内水試棧橋を選んだ。

5月上旬から7月下旬にかけての水温は、1996年では17.8℃から29.0℃へ、1998年では18.3℃から26.6℃へと漸増した（Fig. 9）。両年とも、梅雨時期の日照不足による若干の水温低下があるものの、大きな相違は認められなかった。

5月上旬から7月下旬にかけての溶存酸素量は、1996年では9.4mg/lから7.0mg/lへ、1998年では8.5mg/lから6.8mg/lへと漸減した（Fig. 10）。両年とも、溶存酸素量は7～10日周期で変動しながら減少していったが、最小値はいずれも4 mg/l 台で、無酸素状態には至らなかった。

5月上旬から7月下旬にかけての透明度は、1996年では60cmから85cmへ漸増したが、1998年では53cmから68cmの間を変動していた（Fig. 11）。両年とも、約1ヶ月周期で透明度のピークが現れた。特に、1996年6月下旬・7月下旬には80cm以上を示し、軽微な「水変わり」状態にあった。

以上から、透明度を除いて、1996年春・夏季と1998年春・夏季の間には大きな水質環境の相違はなかったと言え、1998年の湖岸域における魚類仔稚魚～未成魚の生産構造調査結果は1996年にも十分適用することができると思われる。

木村（1994）は、分析対象とする仔稚魚体成分のうち、栄養状態の指標として最も有効なのは核酸比（RNA / DNA）であるとしている。これは各々の核酸の性格から、(1)タンパク質合成能の指標、または成長の指標として理解しやすい、(2)飢餓状態に鋭敏である（通常数日で大きく減少する）、(3)貯蔵物質ではない（貯蔵物質の場合は量が少なくなると解釈が難しく指標として適当でない）などの理由によると思われる。

仔稚魚の栄養状態の指標として初めてRNA / DNAを用いたのはBuckley（1979）で、260nmの吸光度を用いる

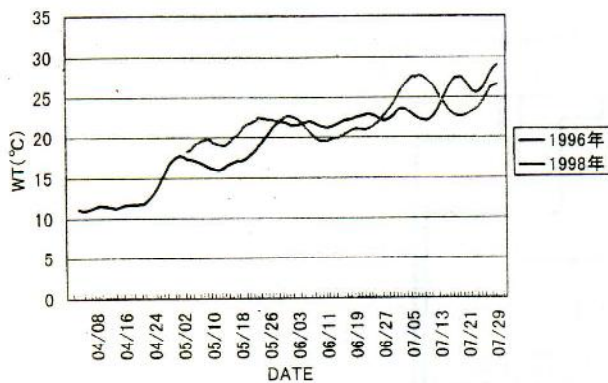


Fig. 9 Seasonal variation of water temperature (5 d running mean) at the pier of IPFFES.

図9 内水試棧橋における水温（5日間移動平均値）の季節変化。

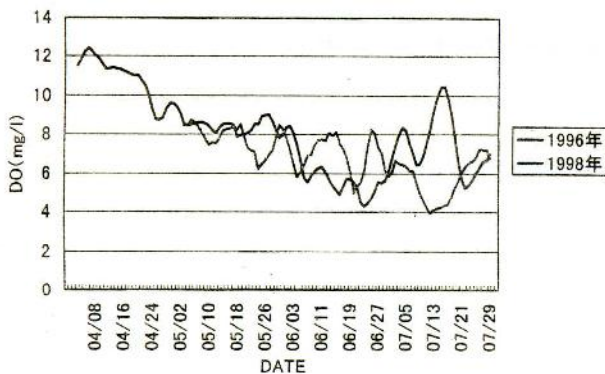


Fig. 10 Seasonal variation of dissolved oxygen (5 d running mean) at the pier of IPFFES.

図10 内水試棧橋におけるDO（5日間移動平均値）の季節変化。

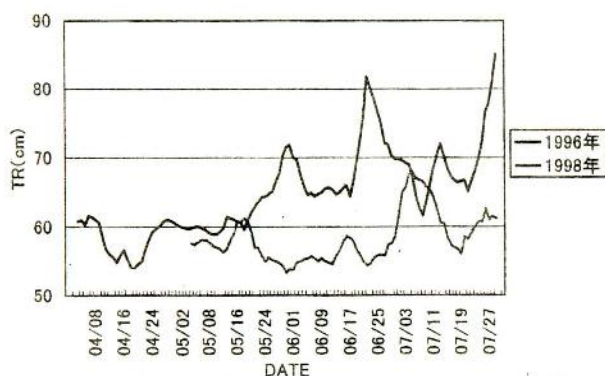


Fig. 11 Seasonal variation of transparency (5 d running mean) at the pier of IPFFES.

図11 内水試棧橋における透明度（5日間移動平均値）の季節変化。

Schmidt-Thannhauser (ST) 変法 (Fig. 2) により, マダラ仔稚魚のRNA・DNAの定量を行った。その結果, RNA/DNAが1日当たりタンパク質増重量と相関があることを示した。またBuckleyは, 8種の仔稚魚 (flounder, cod, haddockなど) の飼育水温とRNA/DNAをもとに, 1日当たりのタンパク質増重量 (Gpi) と水温 (T) (2~20℃), RNA/DNAとの関係式を次のように求めている。

$$Gpi = 0.93 \cdot T + 4.75 \cdot \text{RNA/DNA} - 18.18 \dots (1.1)$$

そこで, この (1.1) 式を利用して, 1996年5月7日から7月29日にかけての内水試棧橋の表層水温 (茨城県内水面水産試験場1997) とこの時期に採取されたチチブ・ワカサギのRNA/DNAから, 成長 (湿重量の増加) を予測した (Fig.12)。水温には実測値を, RNA/DNAには実測値及び按分値を用い, 1日ごとの反復計算を行った。

チチブ・ワカサギ仔稚魚の初期値は各々0.80 g, 0.70 gとほとんど差異はなかったが, 時間の経過とともにその差は広がり, 計算終了時の7月29日には各々3.39 g, 19.81 gとなり, その比は約6倍となった。チチブ・ワカサギの計算値の近似式は各々 $Y = 0.0502e^{0.0198X}$ ($r^2 = 0.996$), $Y = 0.0005e^{0.0498X}$ ($r^2 = 0.989$) (X: 1996年1月1日を起算日とした経過日数) となった。

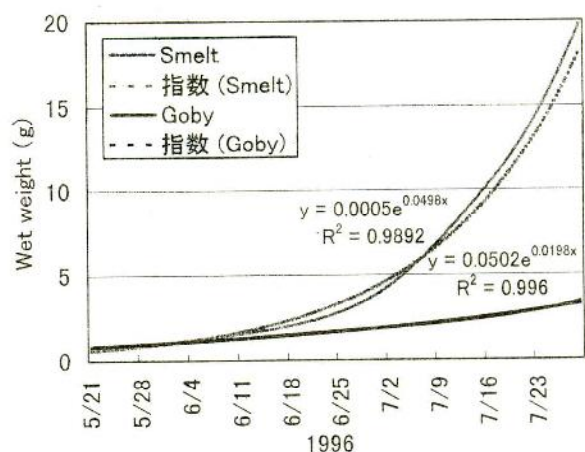


Fig. 12 Growth on larvae of trident goby and pond smelt estimated by water temperature and RNA/DNA ratio.

図12 水温とRNA/DNAから予測したチチブ, ワカサギ仔稚魚の成長。

白石 (1961) は、1950~1951年の諏訪湖におけるワカサギの成長を調査し、成長曲線の近似式から、孵化後10ヶ月時点の体重(湿重量)を12g(測定レンジ:7~17g)としている。根本(1993)は、1985~1992年1月時点の霞ヶ浦におけるワカサギの平均体重を13gとしている。また、霞ヶ浦におけるチチブの夏季(7~8月)の体重は4~5g台となっている(久保田私信)。これらの値と水温・RNA/DNAから求めた7月29日時点での予測値を比較すると、ワカサギの場合は実測値・経験値が予測値よりも顕著に小さく、チチブの場合はやや大きいことが分かる。この理由として、実際の内水試棧橋付近がワカサギ稚魚の成長を抑制しチチブ仔稚魚の成長を促進する餌環境が整っているため、そして予測式に20℃以上の高水温によるワカサギの成長阻害機構を考慮していなかったためと考えられる。

湖岸域における魚類仔稚魚~未成魚の生産構造調査から、ウキゴリ・チチブは腐食食物連鎖の上位を、ワカサギは生食食物連鎖の上位を占めていることが明らかになったが、上述したワカサギの成長抑制・チチブの成長促進の可能性を勘案すると、内水試棧橋付近では生食食物連鎖よりも腐食食物連鎖が卓越していることが推察される。内水試棧橋付近における魚類仔稚魚の微細分布調査から、7月下旬にチチブ仔稚魚は棧橋の沖合側を中心として、ワカサギ稚魚は棧橋の沿岸側を中心として出現し、両者が「住み分け」状態にあったことが確認されたが、その要因として棧橋沿岸側と沖合側での微細な餌環境の相違が考えられる。内水試棧橋の基部~沿岸側はコンクリート護岸からの返し波による水塊の擾乱が激しく、底質は細砂主体となっているが、沿岸側~沖合側は基部~沿岸側と比べると静穏であり、底質は細砂と新成堆積物との混合体となっている(浜田私信)。浜田他(1979)は室内実験から、チチブ仔稚魚が霞ヶ浦の底泥(=細砂+アオコ分解物)を餌として成長することを指摘している。このような微細な餌環境の相違が、チチブ・ワカサギ仔稚魚の分布を規定しているものと考えられる。ただし、7月下旬からワカサギのトロール漁が解禁となり、この時期

に沖合域に分布していたワカサギが一斉に湖岸域に逃避してくるという漁業者の談もあることから、より詳細な生態調査が必要であろう。

中西他(1993)は、琵琶湖北湖盆における浮遊生物群集の食物網動態とそれに伴う物質流の調査から、琵琶湖北湖盆の基礎生産のうち、原生動物や動物プランクトンなど(生食食物連鎖)に直接流れる量は約50%であり、残りは沈降もしくは分解過程を通じて細菌(腐食食物連鎖)へ流れていくことを指摘している。霞ヶ浦は琵琶湖北湖よりもさらに有機汚濁の進んだ富栄養湖であり、水中の細菌数も大きいことから(岩熊1994)、腐食食物連鎖が占める割合は琵琶湖北湖よりも大きいものと思われる。しかし近年、霞ヶ浦に優占する植物プランクトンが塊状藍藻類の*Microcystis*から糸状藍藻類の*Oscillatoria*等に移行して基礎生産量が減少していることや(岩崎他1993)、*Oscillatoria*の分解期間が*Microcystis*の分解期間より短いことが分かってきているので(岩崎他1998)、霞ヶ浦ではかつてより腐食食物連鎖の割合が小さくなっている可能性も考えられる。外岡他(1997)もその点を強調している。各食物連鎖の定量的な把握は、今後の大きな課題として残されている。

1980~1986年7月上旬の霞ヶ浦におけるワカサギ稚魚~未成魚のトロール採集尾数と7月下旬から12月中旬までのワカサギ漁獲量は、飽和曲線を描くものの、両者の間には正の相関関係にあることが明らかになっている(茨城県1998)。これは、春・夏季にワカサギ稚魚~未成魚が多いとその年のワカサギ成魚の漁獲量が多くなることを意味し、稚魚~未成魚期までの段階の歩留まりが漁獲量を大きく規定することを示唆している。

他方、春日(1992)は、1967年から1987年までの霞ヶ浦の魚種別漁獲統計からワカサギ漁獲量(X)とゴロ・テナガエビ漁獲量(Y)との関係を調べ、

$$Y = 6317.3 - 3.09 * X \dots\dots\dots (1.2)$$

という関係式を導き出している。これは、ワカサギ漁獲量が1量減少するとゴロ・テナガエビ漁獲量が3量増加することを示している。この関係式から、ワカサギ型生態系(浮魚型生態系)とゴロ・テナガエビ型生態系(底

魚型生態系)は連続的に連がっておりハッキリとした境界はないが、両者は明らかに異なった生物生産構造を持っていること、そして霞ヶ浦ではワカサギ(動物プランクトン食魚)とのゴロ・テナガエビ(アトライタス食魚)が限られた餌料エネルギーをめぐって激烈な競争を繰り返していることが類推される。

上述した2つの知見を考慮すると、ワカサギあるいはゴロの漁獲量(相対資源量)の多寡を決定する要因として、仔稚魚期における湖岸域の水質環境・餌環境が重要視されてくる。その指標の1つとして、仔稚魚のRNA/DNAは有効であると考えられる。

霞ヶ浦の湖岸域は一般に多様な環境によって構成されていて、湖岸域を成育の場としているワカサギ・ゴロ等の魚類は種ごとに特定の環境条件を選択的に利用している。今後は、種ごとの好適な成育条件を、魚の生理状態を調べるRNA/DNA分析の手法を用いて、明らかにしていきたいと考えている。

5. 要 約

1996年5月上旬から7月下旬にかけて、内水試棧橋付近で動物プランクトン・テナガエビ・魚類仔稚魚のRNA・DNAの分析と魚類仔稚魚の微細分布調査を行い、1998年7月下旬に霞ヶ浦湖岸域で魚類仔稚魚～未成魚の生産構造調査を行って、以下の知見を得た。

- (1) RNA量のレンジは、動物プランクトン(主にコペポダ)・ワカサギで大きく、テナガエビ・ゴロ(=チチブ+ウキゴリ)で小さかった。中央値は、ワカサギ・動物プランクトン・ゴロ・テナガエビの順で大きかった。
- (2) DNA量のレンジは、動物プランクトンで顕著に大きく、ゴロ・ワカサギ・テナガエビで小さかった。中央値は、動物プランクトン・ゴロ・テナガエビ・ワカサギの順で大きかった。
- (3) RNA/DNAのレンジは、ワカサギで大きく、ゴロ・テナガエビ・動物プランクトンで小さかった。中央値は、レンジ同様、ワカサギ・ゴロ・テナガエビ・動物プランクトンの順で大きく、食物段階の高い位置にあ

る生物ほど大きくなる傾向が認められた。

- (4) ワカサギのRNA/DNAとゴロのRNA/DNAの間には、負の相関関係($Y = -0.259X + 6.031$, $r^2 = 0.616$)が認められ、ワカサギ稚魚の成長により餌環境等とゴロ仔稚魚の成長により餌環境等は大きく異なることが示唆された。
- (5) 7月下旬におけるチチブ仔稚魚・ワカサギ稚魚の出現域の関係を見ると、チチブ仔稚魚は棧橋の沖合側を中心として、ワカサギ稚魚は棧橋の沿岸側を中心として出現していることがわかった。その要因として、微細な餌環境の相違が考えられた。
- (6) ウキゴリ・チチブ・ジュズカケハゼはベントス食魚、ワカサギは動物プランクトン食魚、ブルーギル・ヨシノボリ・テナガエビは雑食魚と位置づけることができた。
- (7) 湖岸域ではアトライタス→イサザアミ・ユスリカ→ウキゴリ・チチブと繋がる腐食物連鎖(Detritus food-chain)と、植物プランクトン→ケンミジンコ→ワカサギと繋がる生食物連鎖(Grazing food-chain)が存在することが明らかになった。
- (8) 内水試棧橋の表層水温と採取されたチチブ・ワカサギ仔稚魚のRNA/DNAから、チチブ・ワカサギの成長を予測した。チチブ・ワカサギ仔稚魚の初期値は各々0.80g, 0.70gとほとんど差異はなかったが、時間の経過とともにその差は広がり、計算終了時には各々3.39g, 19.81gとなった。
- (9) ワカサギでは実測値・経験値が予測値よりも顕著に小さく、チチブではやや大きいことが分かった。この理由として、内水試棧橋付近がワカサギ稚魚の成長を抑制しチチブ仔稚魚の成長を促進する餌環境が整っているため、そして予測式に20℃以上の高水温によるワカサギの成長阻害機構を考慮していないためと考えられた。
- (10) ワカサギあるいはゴロの漁獲量(相対資源量)の多寡を決定する要因として、仔稚魚期における湖岸域の水質環境・餌環境が重要視され、その指標の1つとして仔稚魚のRNA/DNAは有効であると考えられた。

引用文献

- Buckley, L. J. (1979) : Relationship between RNA - DNA ratio, prey density, and growth rate in Atlantic cod (*Gadus morhua*) larvae. *J. Fish. Res. Bd Canada*, 36, 1497 - 1502.
- 浜田篤信・外岡健夫・岩崎 順・熊丸敦郎・佐々木克典 (1979) : 霞ヶ浦における藻類の異常発生に関する考察. 茨城内水試研報, 16, 1-43.
- 茨城県 (1998) : 保護水面管理事業調査報告書 (平成6~8年度). 134pp.
- 茨城県内水面水産試験場 (1997) : 内水試棧橋の温度, DO, 水位 (内部資料).
- 岩熊敏夫 (1994) : 湖を読む (自然景観の読み方10). 東京, 岩波書店, 151pp.
- 岩崎 順・外岡健夫 (1993) : 霞ヶ浦 (1982~1992) における植物プランクトンの遷移と基礎生産量の変化. 日本陸水学会第58回大会講演要旨集, 140.
- 岩崎 順・外岡健夫・浜田篤信 (1998) : 好氣的・嫌氣的マイクロコズムにおける霞ヶ浦優占藍藻類の分解. 日本陸水学会第63回大会講演要旨集, 130.
- 春日清一 (1992) : 霞ヶ浦の豊かな生き物たち (大規模ワンド構造構築の提案). 霞ヶ浦研究会編, 霞ヶ浦再発見—ひとと生き物の共生をめざして—, 39 - 55. 土浦, 霞ヶ浦情報センター, 55pp.
- 木村 量 (1994) : II. 減耗要因—4. 飢餓. 田中 克・渡邊良朗編, 魚類の初期減耗研究 (水産学シリーズ98), 47 - 59. 東京, 恒星社厚生閣, 159pp.
- 中西正巳・永田 俊・川幡佳一・芳賀裕樹・中野伸一・高井賢治・楠岡 泰・二宮浩司・占部城太郎 (1993) : 琵琶湖における浮遊生物食物網動態の解析. VII. まとめ. 日本陸水学会第58回大会講演要旨集, 78.
- 根本 孝 (1993) : 霞ヶ浦におけるワカサギ資源量の変動傾向と漁業管理方策. 茨城内水試研報, 29, 1-12.
- 白石芳一 (1961) : ワカサギの水産生物学的ならびに資源学的研究. 淡水区水研研報, 10 (3), 1-263.
- 高村典子 (1996) : 湖の悲鳴—植物プランクトンたちの生活戦略と「アオコ」の大発生. *ILLUME*, 8 (1), 4-21.
- 外岡健夫・岩崎 順・浜田篤信 (1997) : オオユスリカの成長速度について. 茨城内水試研報, 33, 68-71.

付表1 動物プランクトン・テナガエビ・魚類仔稚魚の核酸定量分析結果 (1996. 5. 7~).

Annexed talbe 1 Quantitative assay report of nucleic acids in zooplankton, river prawn and fish larvae (1996. 5. 7~).

No.	Date	Site	Sample	Wet weight	A260RNA	A260DNA	RNA	DNA	RNA/DNA	Remarks
1	1996.5. 7	IPFFES	Zooplankton	0.183	0.336	1.952	425.62	556.70	0.765	
2	5.13	IPFFES	Zooplankton	0.261	0.373	1.940	331.83	387.13	0.857	
3	5.21	IPFFES	Zooplankton	0.128	0.367	1.526	667.19	621.66	1.073	
4	5.27	IPFFES	Zooplankton	0.158	0.319	1.033	465.45	338.30	1.376	
5	6. 4	IPFFES	Zooplankton	0.126	0.199	0.671	357.32	275.35	1.298	
6	6.10	IPFFES	Zooplankton	0.081	0.184	0.816	511.52	522.70	0.979	Oxygen-depression time
7	6.17	IPFFES	Zooplankton	0.144	0.205	0.492	321.44	174.91	1.838	Oxygen-depression time
8	6.24	IPFFES	Zooplankton	0.383	0.279	0.699	167.49	94.23	1.777	
9	7. 1	IPFFES	Zooplankton	0.361	0.296	1.049	188.65	150.54	1.253	
10	7. 8	IPFFES	Zooplankton	0.272	0.511	0.760	440.94	144.51	3.051	
11	7.15	IPFFES	Zooplankton	0.216	0.273	1.117	290.00	268.31	1.081	
12	7.22	IPFFES	Zooplankton	0.036	0.493	0.397	3215.60	563.41	5.707	
13	7.29	Takahama	Zooplankton	0.248	0.675	2.189	640.84	459.63	1.394	Filamentous green algae
14	7.29	Taamari	Zooplankton	0.667	0.411	0.999	143.68	77.68	1.850	<i>Microcystis</i> : CC
15	7.29	Shimotamari	Zooplankton	0.132	0.218	0.607	373.98	236.24	1.583	<i>Microcystis</i> : C
16	7.29	Yakimaki	Zooplankton	0.230	0.224	0.382	220.93	84.41	2.617	<i>Neomysis</i> : 8 indiv./haul
17	7.29	IPFFES	Zooplankton	0.081	0.224	0.583	628.15	370.03	1.698	
18	7.29	Arajuku	Zooplankton	0.105	0.280	0.434	610.25	210.30	2.902	Many wood-pieces
19	1996.5.21	IPFFES	River prawn	0.750	0.614	0.605	288.96	62.25	4.642	
20	6. 3	IPFFES	River prawn	0.680	0.426	0.523	198.72	53.66	3.703	
21	6.11	IPFFES	River prawn	0.650	0.588	0.526	276.48	53.97	5.123	Oxygen-depression time
22	6.17	IPFFES	River prawn	0.680	0.449	0.584	209.76	60.05	3.493	Oxygen-depression time
23	7. 1	IPFFES	River prawn	-	0.659	0.628	310.56	64.66	4.803	
24	7.10	IPFFES	River prawn	0.600	0.569	0.681	267.36	70.22	3.808	
25	7.15	IPFFES	River prawn	0.500	0.427	0.650	199.20	66.97	2.975	
26	7.22	IPFFES	River prawn	0.700	0.455	0.513	212.64	52.61	4.042	
27	7.29	Shimotamari	River prawn	0.550	0.325	0.288	150.24	29.03	5.175	
28	7.29	IPFFES	River prawn	0.600	0.395	0.429	183.84	43.81	4.197	
29	1996.5.21	IPFFES	Trident goby	0.800	0.864	0.891	408.96	92.22	4.434	
30	5.27	IPFFES	Trident goby	1.200	0.997	0.920	472.80	95.26	4.963	
31	6. 3	IPFFES	Trident goby	1.400	0.807	0.922	381.60	95.47	3.997	
32	6.11	IPFFES	Trident goby	0.600	0.839	0.791	396.96	81.74	4.856	Oxygen-depression time
33	6.17	IPFFES	Trident goby	1.100	0.903	1.085	427.68	112.56	3.800	Oxygen-depression time
34	7. 1	IPFFES	Trident goby	0.900	0.605	1.261	284.64	131.00	2.173	
35	7.10	IPFFES	Trident goby	0.910	0.585	0.725	275.04	74.83	3.676	
36	7.15	IPFFES	Trident goby	0.750	0.793	1.216	374.88	126.28	2.969	
37	7.22	IPFFES	Folk-tongue g	0.630	0.616	0.743	289.92	76.71	3.779	
38	7.29	Taamari	Trident goby	0.800	0.639	0.718	300.96	74.09	4.062	
39	7.29	Shimotamari	Trident goby	1.000	0.745	0.523	351.84	53.66	6.557	
40	7.29	Yakimaki	Trident goby	0.910	0.613	0.443	288.48	45.27	6.372	
41	7.29	Arajuku	Trident goby	0.310	0.614	-	288.96	-	-	
42	7.29	IPFFES	Trident goby	0.790	0.635	0.535	299.04	54.92	5.445	
43	7.29	Arajuku	Trident goby	0.850	0.523	-	245.28	-	-	
44	1996.5.21	IPFFES	Pond smelt	0.700	0.586	0.327	275.52	33.12	8.320	
45	6. 3	IPFFES	Pond smelt	-	0.671	0.433	316.32	44.23	7.152	
46	6.17	IPFFES	Pond smelt	0.700	1.294	0.708	615.36	73.05	8.424	Oxygen-depression time
47	7. 1	IPFFES	Pond smelt	0.500	0.680	0.230	320.64	22.95	13.971	
48	7.10	IPFFES	Pond smelt	0.740	1.475	0.581	702.24	59.74	11.756	
49	7.15	IPFFES	Pond smelt	-	0.514	0.250	240.96	25.05	9.620	
50	7.22	IPFFES	Pond smelt	1.370	1.538	0.677	732.48	69.80	10.494	
51	7.29	IPFFES	Pond smelt	-	1.181	0.574	561.12	59.00	9.510	
52	-	-	Blank	-	0.012	0.011	-	-	-	

Notes) IPFFES=Ibaraki Prefectural Freshwater Fisheries Experimental Station, Wet weight:g, RNA:OD260/gWW, DNA:OD260/gWW