

環境保全を考慮した増養殖技術の開発

原 素 之

国際農林水産業研究センター水産部主任研究官

要 旨

開発途上国と言われる地域には、長い歴史の中で起こり育ったさまざまな技術がある。それらの中には、近年先進国を中心に開発された新技術の欠点を補うものも多く見られる。魚介類の養殖技術の中にも、その例を上げることができる。東南アジアでは数百年前より粗放的ながら、気候風土に合った養殖技術が発展してた。しかし、1960年代に入ってその状況は変化してきた。すなわち、経済発展や外貨獲得、さらに雇用の拡大のため、日本等で急速に発達した生産性の高い給餌養殖法の導入が図られた。その結果、養殖生産量は増加したが、自家汚染、環境破壊、価格の暴落などの問題も生じてきた。

東南アジアには伝統的な養殖法として自然に発生した餌を利用し、魚や海老を養殖するという生態系を巧みに利用した養殖方法がある。この養殖法では、原則として給餌を行わないため自家汚染がないこと、低密度飼育のため病気発生率が低いこと、換水や瀑気などの設備が不要なことなど、高密度給餌養殖法とは全く対照的な利点を持っている。すなわち、今はやりの言葉で表現すると、『地球にやさしい養殖技術』、つまり『環境保全を考慮した養殖法』と言うことになる。このように、この養殖法は優れた面を持ちながら高密度給餌養殖法に転換されてきた。この理由としては、施肥養殖法が低生産性であり、生産が不安定であることがあげられる。また、マニュアルが確立していないため、普及しにくいなどの理由もある。

では、どうするか。その一つの方法として、東南アジアで起こり、発展、継承されてきた養殖法の解析と改善が考えられる。すなわち、この養殖の特徴を生かしながら生産性を高め、環境保全型の養殖法の開発を科学的に進めようとする方法である。当センターでは『開発途上国における施肥養殖技術の確立』と題した研究課題を立て、水産部が担当する予定である。これは開発途上国において、特に東南アジアを対象として、環境保全に配慮しつつ、水産養殖の生産性を高めるため、現地に適した施肥養殖技術の確立を図ろうとするもので、研究は以下に示す項目に従い進めていく計画である。

- ① 地中のエネルギー収支・食物連鎖の解明及び施肥量、種苗放養量の適正化
- ② 単種養殖・複合養殖に適した対象種の選定
- ③ 現地で調達可能な飼料原料を活用した施肥養殖飼料の開発
- ④ 池管理法の開発
- ⑤ 飼育池の構造と設計
- ⑥ 上記の研究による合理的な施肥養殖技術の確立

東南アジアでも地域によっては、経済発展で国民の嗜好性が変化し、ただ単にタンパク質供給と言うだけの養殖生産の経済性が低くなっているのも事実である。しかし、開発途上国

全体を見た場合タンパク質生産の増大は必須であり、その重要性は益々増大する傾向にある。東南アジアで行われている養殖法は農業生産には殆ど不適な汽水域の湿地帯で、この地域での環境保全を考慮した養殖法の確立の意味は大きいと考えられる。そして、環境保全を考慮した持続性のある養殖法の開発を行うためには、今まで開発途上諸国への技術援助として行われてきた日本の技術のそのままの移転や応用試験中心の研究では不十分と考えられる。つまり、地域における物質循環や生態系メカニズム解明のため、各水産生物における生理、生態、遺伝学などの基礎的分野の研究の推進及びレベルアップが重要であると考えられる。そして、これらを基とした開発途上国における裾野の広い養殖学体系づくりが、今後の開発途上地域の持続的農林水産業における水産増養殖を健全に発展維持していくための大きな課題になってくると思われる。

今ご紹介にあずかりました原です。よろしくお願いいたします。

開発途上国といわれている地域には、長い歴史の中で起こり育ったさまざまな技術があります。それらの中には、近年、先進国を中心にして開発された新技術の欠点を補うものが多く見られます。例えば魚介類の養殖技術についても、その例を挙げることができます。近年、日本等で発展してきた養殖技術は、先ほど松里さんも指摘されましたように、数年から十数年の短い期間で問題が生じてくるということがわかってきました。一方、東南アジアでの、ミルクフィッシュ養殖や中国でのコイ養殖は、数百年から数千年の歴史を持ち、営々と継承されてきました。これを持続生の面から評価した場合、非常にすぐれた養殖法であると考えられます。今、JIRCASのプロジェクト研究として東南アジアを対象とした研究が計画されておりますので、今日はその東南アジアの養殖の問題点とプロジェクト研究のねらいについて話をしたいと思います。

東南アジアには、ミルクフィッシュなど海産養殖魚類の発祥の地の一つといわれております。この地域では数百年前より、粗放的ではありますが、気候風土に合った養殖技術の発展があります。しかし、1960年代になりますと、その状況は変化してきました。すなわち経済発展や外貨獲得、さらには雇用の拡大のため、日本等で急速に発達した生産性の高いと言われていた給餌養殖法の導入を図ってきました。その結果、養殖の生産量は非常に増大しましたが、さまざまな問題も出てきました。

この給餌養殖方法は、非常に生産性が高いこと、収穫などの点で高能率などの利点から、非常に高収入をもたらすと考えられました。事実、この養殖が始められたときには、非常に高収益をもたらしていました。ところが、その高収益のために参入者が急増し、この養殖が拡大していく過程で、給餌による自家汚染とか

富栄養化の問題が出てきます。また、急激な造成を行うために環境破壊の問題も生じてきました。さらに、高生産性であるために大量生産ができ、製品が飽和状態になると価格の暴落という現象も出てきました。そしてまた、これは非常に高密度で飼うために病気の発生率が多くなり、それを防止するために抗生物質の薬を使いますので、製品にしたときの安全性の面でも、問題が出てきました。さらに、高級な魚を育てるためにイワシとかサンマなどの安い魚をたんぱく源として使いますので、特に開発途上国などでは、非効率的なたんぱく資源の利用ではないかと考えられます。

これに対して、東南アジアでは、自然の生態系をうまく利用した伝統的な養殖法があります。餌を自然に発生させ、そのえさを動物プランクトンが、そして、その動物プランクトンを魚に食べさせ成長させるという養殖法があります。この養殖法の長所は、天然の生態系を利用しているために自家汚染がありません。また、餌が少ないわけですから、低密度で飼うことになります。そうすると、病気の発生率も低くなります。さらに、低密度で飼うため、干満差の換水で十分酸素が補給され、曝気を行わなくてすむことから設備費用がかかりません。そして、雑食性や植食性の魚類を対象としていますので、先ほどの給餌養殖に比べて効率的なたんぱくの利用が図れるという長所を持っています。つまり、これを今風の言葉で言いますと、地球に優しい環境保全を考慮した養殖法と言うことになるのではないかなと思います。

では、このような利点を持った養殖法がどうして給餌法に転換されていったかという点、生産性が非常に低いと言う欠点があるからでしょう。それから、経験的に行われているため、生産が非常に不安定であります。また、経験的なものですから、きちっとしたマニュアルがなく、だれでもかれでも参入することができ

るという養殖法ではないという点にあると思います。

そこで、福所部長も言われたように、JIRCASでは、開発途上国における施肥養殖技術の確立と題した研究課題を水産部の担当で予定しております。このプロジェクト研究は、開発途上国において、特に東南アジアを対象として環境保全に配慮しつつ、持続性のある増養殖生産を高め、現地に適した養殖法にできないだろうかということを意図しています。これはお願いなのですが、私は去年の9月まで、どちらかというと日本式の給餌養殖法を高度化するための研究に従事しており、施肥養殖については勉強し始めたばかりであります。福所部長にいろいろ話を聞いて、大変いい方法であると興味を持っております。計画中のプロジェクト研究が持続的養殖をねらったものであり、こういう養殖が成功すれば、今までの養殖法の転機になると思っておりますので、のちほど多くの意見やご助言を頂ければと考えております。

まず、この養殖法の研究の詳しい内容を述べる前に、東南アジアではどのような養殖がなされて、どのように変遷していったかというのを、二つの代表的な例を挙げて説明したいと思います。

東南アジアでは、ミルクフィッシュという魚が昔から養殖されており、また現在でも多く生産されています。この魚の分布域は、インド洋から太平洋の熱帯から亜寒帯地域であります。この魚の特徴としては、広域性で海水でも汽水でも淡水でもどこでも飼えるということ、動物性、植物性のプランクトン、デトリタス、底生の動植物と、何でも食べて雑食性であること、高密度で飼っても共喰いをしないこと。成長が早いことなど養殖魚として非常に有利な性質を持っています。また、ミルクフィッシュは、種苗が周年いろいろなところで大量に獲れるという非常に養殖生産に適した特長を持っています。さらに、一般に水産生物は腐り易いと言われているのですが、この魚は腐り難く、鮮度流通が内陸部まで行えるというポスト・ハーベストの点でも有利な点を持っています。

ミルクフィッシュの養殖の歴史は、一説によりますと13世紀ごろインドネシアで始まったのではないかとされています。その時代には、雨期に塩田とかマングローブの沼沢地の水路などをせきとめて池のようなものにして、そこに自然に入ってくる稚魚を天然の餌に任せて自然成長させ、それを収穫すると言うような開放型で粗放的養殖がなされていきました。それが17世紀ごろになると、少し技術が進歩し、池中のボラなど

餌を競合する種とか、アカメなどの外敵捕食種を選別し、生産性を上げたようです。これが閉鎖型の粗放的養殖法の始まりのようです。さらに、20世紀になりますと、もっと積極的な養殖になり、施肥とか耕耘、それから池の構造を変えたり、換水方法を能率的にし生産性を上げたようです。このような方法は、管理型粗放養殖法と言われており、この方法が現在の施肥養殖法の原型になっているようです。

施肥方法を、具体的に説明しますと、まず池を熱帯とか亜熱帯の強烈な太陽で干し上げます。そこに人糞とか鶏糞とか有機物を入れ、畑と同様に耕すわけです。それに、数センチ程の非常に浅い海水を入れ、太陽でまた蒸発させます。その操作を何回か繰り返すうち、池の土中の有機物が酸化分解して栄養源となって、それが土中にしみ込んで行きます。十分にしみ込んだ段階で今度は10数センチくらいの海水を入れ、10日ぐらい経つと熱帯では自然に植物プランクトンとか動物プランクトン、また底生の微小甲殻類が発生していきます。この段階で魚を放流し、養殖を始めます。魚の成長度合いによって、餌を準備しておいた池をどんどん大きくしてやるというのが、施肥養殖法の概要です。

現在、13世紀ごろの開放型の粗放養殖法は殆ど行われていませんが、閉鎖型の粗放養殖では、年間に1平方メートル当たり0.2トンぐらいの生産が上げられます。また、これに施肥とか耕うんとかを行うと、0.8トンぐらいに生産量が上がります。これでも4倍程度の生産の向上であります。現在、台湾では、さらに有機肥料プラス無機肥料とか、池の管理方法の工夫により回転率をよくし、年間に2から2.5トンの生産を上げているようです。これに対して、インドネシアとかフィリピンでは0.4とか0.9トンですから、まだまだ低い値です。インドネシアとかフィリピンは台湾に比べると水温条件が良いので、施肥とか耕耘などを行うことによって台湾以上の生産力になるのではないかと考えています。さらに、これよりも高度化された、日本で発達したような高密度給餌養殖も存在します。その方法の生産量は8から12トンと、非常に効率がよいように見えますが、この場合池の水深を非常に深くしているので、使用水量当たりの漁業生産量はほとんど変わりません。また、揚水などでエネルギーを使ったり、稚魚を餌とするなどたんぱく質の利用効率から考えても、決して有利な方法であるとは言えないようです。

次に、ウシエビの例についてご紹介したいと思いま

す。このエビは、インド洋から西太平洋、熱帯から亜熱帯域に分布します。ミルクフィッシュは自国民のたんぱく質供給源としての役割を持っていますが、ウシエビはどちらかと言うと外貨獲得のための輸出用の商品という位置づけが強いようです。ウシエビは、ミルクフィッシュと同様に、養殖種として非常に適した特性を持っています。まず、成長が早くて大型になること、広塩性、すなわち海水、汽水、淡水、どこでも飼えること。適用水温が非常に広い、具体的には10度から35度くらいの温度で生きられることが低たんぱく質要求であるということ、天然種苗が入手し易いことなど、養殖には非常に有利な特長を持っています。

エビ類の池中養殖の生産方法として、粗放的、半集約的、集約的方法に大きく分けられます。粗放的養殖法は、全く給餌をせずに、1ヘクタール当たり1万尾ぐらいの低密度で飼育を行います。また、換水とか曝気も、特に、施設を造らないで、干満差によって行います。当然、その生産性は低く、1回に1ヘクタール当たり1トン程度であります。これに対して、集約的養殖法、これは台湾を中心に行われていますが、人工飼料を作る技術とか人工種苗生産技術、このような養殖技術の高い地域で行われている方法です。収容密度は、5万尾以上と言われているのですが、現在、5万から60万尾の非常に高密度で飼われているようです。一度に5万から60万尾のエビを使うわけですから、これは天然のエビ種苗だけでは足りなくて、当然、人工種苗生産技術が前提となります。それから、餌についても、これは完全に人工飼料で行っています。また、高密度で行うためにポンプによる換水、水車による曝気などの設備費がかかります。それで、1.5t/h/1回と言う、粗放的養殖法に比べると5倍以上の生産量を上げています。粗放的と集約的の折衷型みたいなものが、半集約的と言われるもので、一部の餌を人工餌料に転換し生産性の向上をねらったものがあります。現在、経済性とか投資性、それから漁業の生産効率などから考えると、この方法が一番経済的な方法であると言われております。しかし、その国の事情によって社会的、経済的構造が違いますので、どの方法が一番良いかと言うのは、非常に判断が難しいところだと思います。

これは、1990年における東南アジアの主な国におけるエビの生産量を見ると、台湾、タイが単位生産量で非常に高いのに対して、ベトナムやインドネシアでは低いことがわかります。つまり台湾、タイは非常に集約的なエビの養殖を行っているということがわかりま

す。台湾では1968年のエビの生産量はわずか61トンでした。その10年後の1977年には、人工種苗生産技術と人工飼料の製品化技術が確立し、生産量が1.1万トンに達しました。さらに、その翌年には、9万5,000トンまで増加しました。11年前の1968年と比べますと、実に150倍の生産量になったと言う驚異的な増加です。ところが、1979年には、突然の病気の蔓延により生産量が3万トンに減少してしまいました。ウシエビ養殖生産の例は、各地域における社会的経済的背景の違いから最適な方法はどれだと判断するのは難しいと思いますが、高密度単一種給餌養殖法をそのまま東南アジアに持ち込むと多くの問題が生じると言う一例ではないかと考えられます。

では、どうするかと言う話になります。松里さん、田所さんも盛んに言われていたように、持続的養殖生産法の確立が、一つの解決方法だと思います。そこで、伝統的養殖法の解析と改善により、この養殖法の欠点である生産性を向上させ、環境保全の持続的な養殖法の確立が考えられます。施肥養殖が、その1つの糸口と考えられますが、この方法については、1960年代までは淡水区水産研究所を中心に研究が行われていました。当時は、かんがい用池の利用法として研究されていたようです。また、省力的養殖生産手段やたんぱく利用形態の有効利用の面からの位置づけもあったようです。これらの一連の研究では、温暖地域における施肥養殖の生物生産機構は解明されました。また、実用面でも、養殖池の肥用度を増し、養殖を行う技術が開発されました。しかし、施肥養殖法で重要な効率的な天然餌料の繁殖制御など、まだ未解決な部分も多く残されました。さらに、開発途上国の多くが位置する熱帯、亜熱帯では、当然、温帯と比べて生物生産機構はかなり違うと考えられます。すなわち方法論については重複するところも多いでしょうが、地域に合った養殖技術にするためには、東南アジアにおける個々の基礎的研究の積み重ねによる養殖技術の開発が必要ではないかと考えられます。

JIRCASで計画している施肥養殖法も、一つ一つの課題についてどのようにやっていこうかと言うと、かなり夢物語的なところもありますが、項目一つ一つを追いながら説明していきたいと思います。

一つ目の地中エネルギー収支、食物連鎖の解明及び施肥量、種苗放養量の適正化という項目では、高温で日射量の豊富な熱帯、亜熱帯における植物プランクトンの組成、またはそれらの光合成、増殖速度について

は、主要なものですら、まだあまり研究されておられません。また、動物プランクトンの種類、増殖速度についても同様であります。さらに、養殖対象種となる魚介類についても、一部の魚で捕食、被捕食の関係などについて断片的な知見がありますが、殆ど調べられていません。生態系を効率的に利用した養殖生産を行うためには、現場での動物プランクトンの分類、生態学の調査による食物連鎖、生物種間関係などの解明が行われなければならないと考えます。それと同時に、実験室レベルの培養条件を設定した生理的研究も重要な位置を占めると考えられます。また、動植物プランクトンを餌とする魚の天然での胃内容物調査や成長成熟などの生態調査、実験室での餌量効率や飼育条件設定による成長速度の解明が不可欠と考えられます。例えば植物プランクトン食性のハクレンでは、スピルリナというプランクトンが優先すると成長が阻害され、またアナテナという種類が優先すると促進されると報告されております。このように、施肥によって発生した動植物プランクトンを、バイオマス、固まりとしてとらえるのではなく、それぞれを構成する種に注目し、個々のきめ細やかな生物学的知見の蓄積が必要と考えます。また、人工種苗生産技術が幾つかの魚類とか貝類で開発され、かなりの数量の人工種苗の生産が可能になってきています。このような状況から、密度効果を考慮した放流数量に適した施肥量の検討が、生産性を高めるための一つの方法ではないかと考えています。

二つ目の項目として、単種養殖種と複合養殖に適した対象種の選定です。例えば中国の養殖では、植物プランクトンをハクレンが、動物プランクトンをコクレンが、そして水草をソウギョが、さらに底生動物をコイが、というような組み合わせで効率的な生産を上げています。このような複合養殖の組み合わせは、今まで経験的に行われていました。養殖対象種の科学的な食性調査や飼育実験により、栄養要求の生物学的知見の蓄積により、東南アジアにおけるよりよい複合養殖の組み合わせが見つかり、生産性の向上につながるのではないかと考えています。

三つ目の現地で調達可能な飼料原料を活用した施肥養殖飼料の開発では、施肥用の飼料として、リン酸が制限要因になっていることが多いようです。リン酸肥料にもリン酸石灰やリン酸マグネシウムなど地域により安価に入手できるものとか、施肥効果が上がる肥料の検討が必要と考えられます。また、植物プランクト

ンの種類で窒素リン酸比は異なります。池のアルカリ度によっても最適窒素リン酸比は異なると言われています。このようなことから、水質環境に合った施肥の種類やその添加方法、添加量の検討が必要と考えられます。そして、生産性の低い施肥養殖を改善するには、施肥による天然餌料だけではなく、自家汚染の少ない給餌法を加えた養殖方法も考えられます。これに関しては、ドイツなどで穀物とか植物性油かすなどを利用した方法があります。この方法は、動物性たんぱくを給餌する方法と比べて自家汚染も少なく、またエネルギー利用形態からも合理的な方法と思われる。

四つ目の池管理法の開発という項目では、施肥過程における有機物の酸化分解の促進法、それから天然餌料を効率的に増殖させるための微量金属を含めた栄養塩の種類、添加量、光合成に適した水深などの検討が必要と考えられます。

五つ目の飼育池の構造と設計の項目では、省エネルギー的に見ると、干満差を利用した海水の交換が最適であり、これを効率よくするための水路とか水門などの水利学的な研究、水産工学的な研究も必要ではないかと考えています。

以上が立案中のプロジェクト研究の概要であり非常に多岐分野に渡っています。それぞれの分野の研究の推進により合理的な施肥養殖技術の確立が図られるのではないかと考えております。

最後に、東南アジア地域でも、地域によっては経済の発展により国民の嗜好性も変化し、ただ単にたんぱく質の供給だけの養殖生産は、経済性が低くなっていることも事実です。しかし、開発途上国全体を見た場合、たんぱく質の生産は必須であり、その重要性は将来ますます増加する傾向にあると考えられます。さらに、東南アジアでは伝統的に行われてきたこの施肥養殖は、農産物生産に不適な汽水域の湿地帯で行われており、この地域での環境保全を考慮した養殖の確立には、大きな意味があると考えられます。環境保全を考慮した持続性のある養殖法の開発を行うためには、今まで東南アジア諸国への技術援助として行われてきた日本の技術そのものの移転や、実用性中心の研究では不十分と考えられます。つまり物質循環や生態系メカニズム解明のため、個々の水産生物における生理学、生態学、遺伝学などの基礎的分野研究の推進、レベルアップが重要と考えられます。そして、これらを基盤とした開発途上国におけるすそ野の広い養殖学体系づくりが、今後の開発途上国の増養殖業を健全に発展し

ていくための大きな課題になってくるのではないかと考えています。

以上です。どうもありがとうございました。(拍手)

座長 どうもありがとうございました。質問も多数おありかと思えますけれども、総合討論のところでいただきたいと思えます。

私、上司としまして、原主任研究官にイエローカードを1枚差し上げたいと思えます。ジャルカスと彼は言いましたが、ジルカスが正しくて、ジルカスとお覚えいただきたいと思えます。イエローカードを1枚差し上げます。

諸岡研究企画科長の方から事務連絡がございますので、お願いいたします。

諸岡（企画調整部研究企画科長） 二つほどお願いとお知らせがございます。

一つは、これから記念写真を撮りたいのです。私を知る限り、このつくばの農林団地で魚についての研究会は、きょうが初めてではないかと思えます。それから、80名を越す方にお集まりいただきまして、とても室内で写真が獲れなくなりました。ご足労かけますが、屋外に出ていただきまして、そこで昼御飯の前に

写真を撮りたいと思えます。この部屋の右隣りに非常階段がございます、それを1階までおりていただきますと手ごろな築山がございます。そこだと皆さんショットに入りますので、そこで皆さんと記念写真を撮りたいと思えます。それが一つのお願ひ。

その後、食事ですが、きょう報告いただく方、それからアドバイスをくださる方、コメントをくださる方、またそれに近い関係者の方には既にチケットをお配りしてありますが、その方の昼食は5階の第2会議室に用意してございます。写真を撮った後そこにご参集ください。

それ以外の方、チケットをお持ちでない方は、1階にこの研究所の食堂がございます。日ごろよりやや多めに頼んでありますので、そこで昼食をおとりいただきたいと思えます。

なお、昼御飯の間じゅう、第2会議室——5階ですが——そこで、JIRCASの海外での活動を紹介したビデオを常時流しておりますので、どうぞそれをごらんいただきまして、水産プラス水産以外の分野の活動についても、何がしかの関心を、知識を得ていただければありがたいと思えます。以上です。