

業の生産が220万トンですから、一割程度の増産が出来るかどうかということです。養殖わかめの発展、のりの北海道、北陸等の魚場拡大、人工放流の今後の発展等を考えれば、この目標は必ずしも過大ではないと思います。

松田恵明(北大水産)：水産業は国際漁業であります、それにふさわしい国際生産体制というものがあるのかどうか。またその様な考え方が国際的にどのように評価されているのか。

答：国際体制はまだ出来ていません。一部の漁業、漁場で、二国間でまた多数国間に漁業管理の取りきめがあるだけです。説明で申し上げました通り、FAOで現在、生産体制を提案中ですが、経済事情が各国によつて違いますから、実現は遠い将来のことと考えられます。

坪井守夫(東海区水研)：海の生物の生産費が農業や畜産より低いと云うのは、追加投資の強さの差によるのではないかと。即ち、水産は農業や畜産より追加投資が低いために起因していると考えられ、自然の生産過程の能率の優劣ではないのではないかと。

答：海洋の生産力(特に沿岸)は同じ面積の土地にくらべて200~300倍ほど豊度が高いといわれていますので、本源的な自然の生産力も海洋の方が高いのではないのでしょうか。ただ、この問題については私はまだ門外漢なので、今後文献を探り、検討してみたいと思います。

生産費が農業より漁業の方が高いのは投資の差によることは当然考慮すべきでしょう。この場合、①農業と漁業の処女地の場合、②漁業で最も投資が進んでいると思われる以西底引と、農業(=畜産)など集約投資が行なわれている場合の比較。

いずれの場合も私見では漁業の方に分がありそうです。以西底引などは日本漁業の中で生産性の最も高い漁業です。

2 最近におけるポピュレーション・ダイナミクス研究の発展と将来の問題

田中昌一(東京大学海洋研究所)

1) 水産資源の開発の研究

1967年秋のFAO第14回総会に提出された世界食糧農業白書(State of Food and Agriculture)には、「漁業資源の管理」という一章が含まれている。この中で、海洋の魚類資源開発の現状について「1949年当時はまだ未開発であると信じられていた約80種の資源のうち、約半数は現在既に適当な管理を必要としている」と述べられており、また将来について「来たるべき20年間には現在の漁具で漁獲できる未開発資源は極めて僅かしか残らないであろう」という予測に基づいて、適当な国際管理の緊急性が強調されている。一方において、増大する世界の蛋白質の需要をみたすための魚類生産の拡大が要求され、他方で過剰漁獲の危険性はますます大きくなりつゝあり、この矛盾を解決するために、魚類資源に関する研究は世界的規模で強化されてきた。これらの研究ははなはなしい成果をもたらし、一方において資源の管理に重要な貢献をするとともに、他方において資源のダイナミクスに関する理論のすばらし

い発展をもたらした。

これらの発展のあとを追つてみると、1950年代における理論面における質的発展、1960年代に入つてからの新しい機器、手法の導入による量的発展および、ダイナミックスの基礎に関する研究への外延的発展が特に注目される。以下において、これらのそれぞれについて例を示して説明するとともに、最後にこれからさらに発展させなければならない問題点をあげ、それぞれの発展の方向についての意見を述べることにする。

2) 1950年代の理論の発展(質的発展)

(1) 戦前における理論の発展

水産生物資源のダイナミックスの研究はBaranov(1918)にはじまるということができよう。彼は魚類の生長と死亡の法則性を数学的模型として表現し、資源および魚獲物に対する漁業による間引きの影響を数学的に解析した。つまり、Russell(1931)の方程式が出される13年前に、この式に含まれる概念を数式として表現していたのである。Baranovの研究は年齢構成に注目した分析的方法によつてゐるが、Graham(1935)は当時昆虫などについて明らかにされていたシグモイド曲線の理論を北海のトロール漁業に適用し、最適漁獲を論じてゐる。また北東太平洋のオヒョウ魚獲の急減に関し、Thompson and Bell(1934)は漁獲死亡と自然死亡を考慮して、漁獲の強化がどのような影響を資源や漁獲量に与えるかを検討して、漁獲の急減は乱獲によると結論してゐる。

以上のように、Baranovによつて始められた資源のダイナミックスに関する理論は、1930年代には広範に実際の資源問題に応用されるようになり、諸概念は一応整理され、理論体系も確立された。その後戦争の影響もあつて、1940年代には資源研究の沈滞がみられたが、戦後の食糧不足とも関連して各国で資源研究が活発に行なわれるようになり、ここから1950年代の目ざましい理論的発展がもたらされた。

(2) 数学的模型の改良

新しい発展としてまずBaranovの数学的模型の改良があげられる。Baranovは体長の成長曲線として直線を考えたと、Beverton(1953)はBertalanffy(1938)の式

$$l = l_{\infty} (1 - e^{-K(t-t_0)})$$

を用いた。成長曲線としては、この外にも多くの型が考えられるが、この式がほとんどすべての魚類の成長傾向によくあてはまること、Walford(1946)の定差図によつてそのあてはまりが検討できること、および数式的に取り扱いが簡単であることのために、その後の各種の研究においてはほとんどすべてこの成長式が用いられるようになった。このことは単なる数学的操作上の問題ではなく、パラメタ l_{∞} や K にはいろいろな生物学的意味が含まれており、Beverton and Holt(1959)はこれらと魚の寿命、自然死亡の関係を論じており、Taylor(1959)は温度との関係を検討してゐる。

成長曲線の外に年令の上限を考えたことも重要な点である (Beverton, 1953: 田中, 1954)。年令の上限を考えず、かつ直線的な成長を適用すると、漁獲の弱い時の魚獲量を著しく大きく見積ることになる。

(3) 資源管理に関する新しい概念

理論の実際問題への適用にあつて、定常状態ではなく、漁業規制後の時間的変化を検討することが重要である (田中, 1954: 山中, 1954)。定常状態としては資源が改善される場合でも、漁業規制直後には必ず一時的に漁獲が減少するので、実際の資源管理上からは、この非定常状態の問題は無視できない。

漁業は、間引きの強さと選択性の2つの要素からなつており、これらはからみ合つて資源に影響しているが、それら2つを同時的に考慮しようとすることも重要な新しい考え方である。トロール漁業では、選択性ははじめて漁獲の対象となる年令によつて定まり、間引きの強さは漁獲対象魚に対する間引きの強さとしてあらわされるので、これらをそれぞれ縦軸と横軸にとり、2次元の平面を考えると、あるトロール漁業の状態はこの平面上の一点としてあらわされ、各状態における漁獲量について等量線を画くことができる (Beverton, 1953)。この等量線図から、どのような漁業がより多くの平衡漁獲量を与えるかを一目で見ることができし、トロール網の目合と漁獲努力の相互関係も知ることができる。この図を資源の管理図と呼ぶことができよう。一般的結論として、間引きの強い時には大きな目合の網をつかわなければならない。したがつて、乱獲によつて減少した漁獲を目合を小さくすることによつて補うという普通にみられる漁業の傾向は二重に悪いことになる。

(4) 死亡率の推定

等量線図を実際に画くためには、漁獲率や自然死亡率を知らなければならない。漁獲率等の推定には、標識放流の外に、漁獲努力量の増大につれて生残率の減少する傾向も利用することができる。この方法は Silliman (1948) によつてはじめてカリフォルニアのマイワシに適用されたが、ここでは漁業がほぼ安定していた、努力量水準の異なる2期間での生残率の違いから漁獲率等を計算している。これに対して、Widrig (1954) はこの方法を一般化し、全減少係数 Z 、自然死亡係数 M 、および努力量 X の間に

$$Z = M + qX$$

なる関係のあることを利用して、年々の Z の値の X への直線回帰関係から M や q (漁具能率) を推定する方法を考えた。この方法はその後多くの魚種に適用されたが (Palohimo, 1958: 田中, 1960: 三谷, 庄島, 1966: Garrod, 1967 等)、一般に点のばらつきが大きく、よい結果が得られない。しかし、これはデータの精度の問題であつて、Widrig の方法自身の問題ではない。

もし年令組成が不明の時でも、加入量が一定で、資源の安定している場合には、土井 (1962b) の方法が適用できる。加入量を R 、生残率を S とすると、資源尾数 N は

$$N = R + RS + RS^2 + \dots \dots = R / (1 - S)$$

である。漁獲率を $E = F / (M + F) \cdot (1 - S)$ とあらわして、漁獲尾数は

$$C = E \cdot N = RF / (M + F) = RqX / (M + qx)$$

したがって

$$X/C = M/qR + X/R$$

となり、努力当り漁獲尾数の逆数の X への回帰関係として R 、および M/q の値が求められる。なんらかの方法で S がわかれば、 M 、 q を別々に推定することも可能である。

(5) 有効漁獲努力

データの精度の問題の中には、漁獲努力量が実際の漁獲の強さをあらわさないということが含まれている。たとえばトロール漁業で、漁船はある特定の魚種を目標にしてその魚種の多い漁場を選ぶ傾向がある。したがって、目標魚種が変わると、統計上にあらわれた総努力量には変化がなくても、特定魚種に対する圧力は著しく異なつたものとなることがある。そのため、ある魚種に対する真の漁獲の圧力を見積るには、その魚種と努力量の分布の関連性によつて、統計上の努力量を補正しなければならない。たとえば、漁場全体をいくつかの漁区に分け、それぞれの漁区内での努力量を、その漁区における努力当り漁獲量の重みをつけて考えるという方法がある。もし漁具能率が各漁区とも等しく、漁区内での魚群や努力の分布が均質である場合には、このようにして補正した努力量は正しく漁獲の圧力を代表すると考えられる。このような努力量を有効漁獲努力と呼び、有効努力当り漁獲量を資源密度指数、これに漁場面積をかけたものを資源量指数と呼ぶ (Gulland, 1955; 田中, 1957)。東支那海のレンコダイの1引網当り漁獲量は、最大1:8程度の季節変動を示す。これは時期によつて、努力量がレンコダイの多い東南部の漁場に集つたり、またレンコダイのほとんどとれない北部にかたよつたりするためである。資源量指数を用いると、変動巾は1:2程度に縮小される。この程度の変動は、新規加入の影響としても説明され得る。

(6) 再生産問題

以上に述べた理論は、主として同一世代内での生残り、生長過程を問題にしたものであるが、資源のダイナミクスには、世代間の関係、あるいは再生産問題という非常に重要なもう一つの側面がある。そもそも資源に対する漁獲の影響が問題となりだした頃は、親を間引くことによつて子の量が減少するのではないかという危惧が多かつたが、その後問題の焦点はむしろ世代内での生残りと生長に関連した乱獲問題へと移つていつた。Baranov (1918) は、加入量が年々一定であるというモデルを設定している。つまり漁獲は加入量に影響しないという前提に立つている。このことは確かに一定の条件のもとで正しいことが多くの事例によつて示されてはいるが、このような前提のもとではサケ、マスのように一生に一度だけ漁獲の対象となる魚種の資源問題を取扱うことができないし、また加入量の変動が資源の変動を大きく左右していることが、多くの事実によつて明らかにされてきた。

漁獲の再生産に与える影響を理論的に扱つた研究は、Ricker (1954) の論文が最初である。これがきっかけとなつて、親子の量的関係についての理論的考察が数多く発表された。

(Beverton and Holt, 1957; 田中, 1960等)。横軸に親の量、縦軸に子の量をとつてその関係を示した曲線を再生産曲線と呼ぶ。曲線が、原点を通る傾斜 45° の直線よりも上にある部分では、親の量より子の量が多くなり、その余剰部分を漁獲によつて利用することができる。また余剰量が最大になる点に親の量を維持する時には、最大の持続的漁獲量が得られる。Ricker(1954)は理論的再生産曲線として

$$R = aEe^{-bE} \quad (R: \text{加入量}, E: \text{産卵量})$$

を提案している。この曲線ではあるEの値でRが極大となる。またBeverton and Holt(1957)は別のモデルから出発して

$$R = aE/(bE + 1)$$

という式を得た。この式では、Eが大きくなればなるほどRは増加して a/b に近づく。田中(1960)は、卵仔稚の死亡について各種のモデルを想定し、それぞれについて再生産曲線の形を一般的に論じている。

(7) シグモイド曲線論の新らしい展開

Baranov流の理論にしても、また再生産理論にしても、資源のダイナミクスを加入、生長、死亡の各過程に分解して、解析的に研究するものである。したがつて理論としては精密ではあるが、詳細な資料を必要とする。その点で、シグモイド曲線論は漁獲量と努力量のデータだけでかなりの論議を進めることができるので、応用範囲はせまくない。

Schaefer(1957)はシグモイド理論を発展させて、努力当り漁獲量が努力量と直線関係にあることを示す式を導いた。自然増加をG、資源量をPで表わすと、

$$G = KP(L - P)$$

であるから

$$G/P = (C + \Delta P) / P = kP(L - P)$$

となる。ここで $P = C/qX$ とおくと

$$qX + \Delta \left(\frac{C}{X} \right) / \frac{C}{X} = K \left(L - \frac{1}{q} \frac{C}{X} \right)$$

という関係式が得られる。これから、 C/X のXへの回帰関係としてパラメタの値が推定される。この式を東太平洋のキハダマグロの魚獲統計に適用して、この資源からの適正漁獲量が推定された。

(8) 経済的問題

資源を利用するという産業的立場から見ると、資源のもつている経済的側面を忘れることはできない。特に最近FAOなどが中心になつて、漁業および資源の経済的側面についての研究が盛んになつてきた。この研究に先鞭をつけたのはGordon(1953)である。彼は農業において広く適用されている収穫逓減の法則を漁業問題にもあてはめ、最大純利益は最大漁獲量より少ない努力量の所で得られることを示した。また資源がすべての人に公開されていることによつて、多少とも利益の得られる限り新規努力の投入が続き、最大純利益の点はもちろん

最大漁獲量の点をも通りこして、乱獲状態をもたらすことを証明した。前述のFAOの世界食糧農業白書はこの問題を特に強調している。

(9) 主要な業績

1930年代に一応確立され、戦後の1950年代に一段と発展したポピュレーション・ダイナミックスの理論を集大成した重要な論文が、1950年代の終りに相續いて出版された。一つはBeverton and Holt(1957)の "On the dynamics of exploited fish population" (533頁)であり、他の一つはRicker(1958)の "Handbook of computations for biological statistics of fish populations" (300頁)である。日本では田中(1960)が "水産生物の Population dynamics と漁業資源管理" (200頁)を発表した。この中で田中は、資源管理の考え方として、最初から適正漁業というようなものは考えず、まず資源状態の改善される方向を求め、この方向に向つて次第に資源状態を接近させるという、自動制御理論的立場を主張している。

3) 1960年代 — 新しい機器、手法の導入 (量的発展)

(1) 新しい時代の展開

前述の3論文の発表された以後においても、いくつかの重要な研究がなされている。しかし、多くのものは1950年代の理論の応用であつたり、あるいはその若干の改良等であつて、特に目立つた重要な業績は少ないように思われる。これは、最近の研究が、理論の質的発展から量的発展の段階へと飛躍したことを示していると考えられる。特に新しい機器や手法の導入による研究の展開には目ざましいものがある。

(2) データの処理・観測の機械化

データの迅速な大量処理のための電子計算機の利用は日常のこととなつた。日本においても、各種の漁業について、漁獲量、努力量統計や体長組成、年齢組成等の生物統計が電子計算機によつて集計され、一定の様式にまとめられている。各種観測や標本処理の迅速化、自動化のためのいろいろな装置の開発や利用も進められている。たとえば黒木等(1965)はサケ・マスのうろこの隆起線の数や線間間隔を自動的に記録する装置を考案した。

(3) 魚群探知機の利用

魚群探知機等の音響機器の資源研究への応用も、近年急速に脚光をあびてきた。白石・古田(1963)は、魚群が分散する夜間に芦ノ湖上でジグザグに船を走らせて魚の映像をとり、魚探機の指向角および映像中の単体数から、湖全体に棲息している魚類の総数を435万尾と推定した。Cushing(1967)もニシンについて同様のことを試みており、白石等と同じく夜間の方が単体が分離して計数しやすいことを認めている。またsector scannerを用いることによつて単体の分離を一そうよくすることが可能であると述べている。さらにsector scannerを用いると、映像の濃さから単体の大きさを推定することも可能であ

る。魚探では明らかにできない魚種の判別については、水中テレビ、水中カメラの併用が考えられる。いずれにしても、今後機器の開発、改良にともなつて、資源研究のための魚探機の重要さはますます増大するであろう。

(4) シミュレーション法

電子計算機やアナログ計算機の導入にともなつて、シミュレーションという新しい手法が用いられるようになった。シミュレーションとは、ある現象と類似の結果を、計算機を用いて作り出すことによつて、現象の裏にある法則性を明らかにする方法である。たとえば、漁獲量、努力量の年々の値が得られている時、自然死亡係数や漁具能率、あるいは再生産曲線をいろいろに与えて、計算機によつて漁獲量を計算し、その計算値が実際の値に最も近くなるようにするのである。そして、実際の値に最もよくあてはまる計算値が得られたならば、その時の自然死亡係数などを実際の値の推定値として採用するのである。

土井(1962a)は、アナログ計算機を用い、Volterra(1928)の式を基にして、クロマグロとスルメイカ、その他について捕食者と餌生物の関係を、また佐渡の定置網と底引網漁獲物、その外の例について魚種間相互関係を分析している。漁獲量で資源量を代表させている点や、種間関係についての生物学的裏付けに乏しい等の問題はあるが、種間関係についてのいくつかの示唆が与えられているように思われる。土井(1962c)はまた南氷洋のナガスクジラについてシグモイド曲線の再生産を仮定して、

$$\frac{1}{N} \frac{dN}{dt} = -(M+qX) + (r-bN)$$

というモデルを設定し、実際の努力量 X といろいろな M , q , r , b の値を与えて、漁獲量経年変化の再現を試み、1948年の資源はシグモイド的増殖の初期の段階にあつたこと、および漁具能率 q は小さく、漁獲率は低いことを推定した。

Silliman(1966, 1967)もアナログ計算機によるシミュレーションの手法を用いて、カツオ、メバチ、タラの資源変動を解析している。類似させる対象はいずれも漁獲量で、因子としては、漁獲努力、自然死亡、生長、加入がとりあげられている。カツオとメバチについては、分析の結果から最適漁獲量の水準が推定された。

Widrigの方法は、加入の完了した年令に対して適用されるので、マグロ類のように、漁獲物中の主要部分が加入進行中の年令で占められているものに対しては不十分である。石井(1967)は、加入が正規分布関数に従つて進行するという仮定に基づいてモデルを設定し、電子計算機を用いて年令組成を再現するという方法によつて、自然死亡係数や漁具能率などを推定した。

(5) 個体群実験

Sillimanの業績で忘れてならないものに、グッピーをつかつての間引きの影響に関する実験がある(Silliman and Gutsell, 1958)。彼等はグッピーを4つの水槽に入れて飼育し、うち2つは対照としてそのまま放置し、他の2つに対しては3週間当たり25%、

10%、50%および75%の間引きを順次加えて、個体群のこれに対する反応をしらべた。実験は180週もの長期にわたって続けられ、漁獲率が高すぎても低すぎても平衡漁獲量の小さくなることが実証された。最高の漁獲量は間引率が3週間当り25%と50%の間で得られると推定され、また75%の間引率では、個体群は絶滅した。この種の実験は、昆虫については極めて多数行なわれているが、魚類に関するものは少ない。実験の方法、位置づけ、解釈のしかた等について多くの問題があり、実証的であるためにかえつて大きな危険性をともなつてはいるが、魚類個体群変動法則を明らかにするための実験的手法の意義を再認識すべきであると思う。

4) ダイナミックスの基礎に関する研究 (外延的發展)

(1) 基礎研究の必要性

資源のダイナミックスに関する理論が出されて以来、これが単なる数式的展開であつたり、頭の中だけで作りあげられたものであつたわけではない。先駆の重要な業績と考えられているものは、すべてその数式的展開の裏に生物学的、あるいは実証的裏付けをもつていた。つまりこのような生物学的基礎にもとづいて数学的模型がつくられ、数式的展開がなされたのである。ダイナミックスの理論を發展させるためには、まずその基礎となる生態や生理に関する研究が先行しなければならない。その意味で、最近のこれらの研究の發展が目される。ここで研究のすべてを網羅することはできないので、手近かの若干の例をあげるにとどめる。

(2) 生長

生長の問題の中で、生長曲線の型は直接的な重要さをもつている。多くの屋外における観察と飼育実験が行なわれ、代謝生理の面からいくつかの理論が展開された。Bertalanffy (1938) は生物の生長を、生物個体の外界からの物質の摂取量と、外界への排出量の差としてとらえた。そして、物質の排出量、即ち呼吸量は魚体重量 W に比例し、摂取量、即ち同化量はある面 S に比例するものとして、基本式

$$\frac{dw}{dt} = HS - Km$$

を導いた。ここで個体の生長にあつてその形の幾何学的相似性が保たれるものとする、 w は l^3 に比例し、 S は l^2 に比例すると考えられる。この関係を上の式に代入すると、

$$\frac{dl}{dt} = E - Kl$$

となり、これを解くと

$$l = \frac{E}{K} (1 - e^{-K(t-t_0)}) = l_{\infty} (1 - e^{-K(t-t_0)})$$

が得られる。この式で l_{∞} は年令が無限に大きくなつた時に到達するであろう極限体長であり、 K が大きいほどこの極限体長への接近が早い。

Bertalanffy の式は代謝の生理から生長曲線への接近の最初の試みであるが、その後の実験結果から、同化量が面に比例し、呼吸量が体重に比例するとはいえないことが示された。Parker and Larkin(1959) は、体重についての生長率は、各成長段階 (growth stanza) ごとに体重の関数として示されるという前提から

$$\frac{dw}{dt} = Kw^x$$

という基本式を提案した。そして、 x は生理的過程を反映し、 K は生態的条件を反映するものと考えた。彼等はマスノスケとステイルヘッドの成長を検討し、この生長式がほぼ満足されていることを認めた。この式は極限体長をもたないが、各年令別の漁獲が各年級群の特定の大きさのものにかたよる傾向のある場合——たとえば生長の速い個体ほど早く成熟して沿岸に回帰し漁獲される等——には、見かけ上 Walford の定差図のあてはまることがある。

Paloheimo and Dickie(1965) は、摂食量を R 、代謝量を T として、生長率を

$$\frac{\Delta W}{\Delta t} = R - T$$

とおき、また多くの実験例から

$$T = \alpha W^r, \quad \frac{\Delta W}{\Delta t} = R e^{-a-bR}$$

という経験法則を立て

$$\alpha W^r = R (1 - e^{-a-bR})$$

$$\frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dR} \frac{dR}{dt} = R e^{-a-bR}$$

という基本式を導いて、理論的成長曲線を求めた。この曲線も極限值をもっていない。ここで b は、摂食量が多くなるほど生長効率の悪くなることを示す定数であるが、もし $b = 0$ で生長効率が一定の場合は、Parker and Larkin の式と一致する。またこの生長曲線によつて $W^{1/3}$ について Walford の定差図を画くと、ほとんど直線に近い線が得られる。

生長はいろいろな条件によつて変化する。たとえば、ワカサギ (白石, 1961) およびイサザ (名越, 1966) では、発生状況がよくて湖内での密度が高くなると、明らかにその生長がわるくなる。この関係は、似かよつた生活空間と食物を要求している 2 種の間でもなり立つ。三浦 (1966) はびわ湖のアユの生長に対するイサザの影響を論じている。

密度が生長に影響するといつても、それは単純な因果関係ではない。児玉 (1960, 1963) はアユを用いての実験結果から、密度が社会構造を通じて生長に影響するという仮説を証明した。彼は同じ大きさの池に異なつた尾数のアユを入れて飼育した所、密度が高くなるとなわばりをもつものがあまりあらわれなくなるを見出した。また同じ 6 尾ずつを入れた実験では、第 1 群では強力ななわばりをもつた 1 個体があらわれ、第 2 群では弱いなわばり

をもつた4個体があらわれ、第3群ではなわばりは見られなかつた。このような社会構造の差に対応して、第1群では1尾のみが極端な生長を示し、第2群では特に生長の悪い個体が1尾生じた。これに対して第3群では各個体ともそろつた生長を示した。生長の個体間変動は、第1、第2、第3群の順で小さくなり、平均体長の伸びは第1群で最小であつた。

(3) 摂食

生長に関連した摂食の問題、即ち餌が口に入るまでの問題には不明の点が多いが、Ivlev (1955)の業績はどうしても忘れることができない。Ivlevは大規模な飼育実験を行なつて次のことを発見した。餌の量Pを次第に増加させていくと、魚ははじめその増加に比例して摂食量Rを増加させるが、やがてRの増加はゆるやかになり、魚のとり得る最大量Rmaxに漸近する。この関係は

$$R = R_{\max} (1 - e^{-\xi P})$$

とあらわされる。ここでもし餌の分布にむらがあると、その標準偏差を κ であらわして

$$R = R_{\max} (1 - e^{-(\xi P + \kappa^2)})$$

となる。もし餌が均一に分布していて κ が小さいと、食われる量が少なくなる。このことは、イワシなどのように何等の保護をうけない魚卵は広大な空間に均一に撒き散らされることの意義を説明する。Ivlevはまた食物の嗜好性について選択指数 $E = (r_i - p_i) / (r_i + p_i)$ を提案している。ここで r_i はある食物の胃内での組成、 p_i は同じ食物の環境内での組成をあらわしている。Eの値はある食物に対して強い選択性を示すと1に近くなり、これを全く食べない時は-1となる。無選択摂餌の場合は0である。須永(未発表)はびわ湖のハスについて、Daphnia longispinaに対するEの値が+1に近いことをみつけた。そしてD. longispinaが多くなるほどこの種に対する選択性が高くなること、またD. brachyurumではこのような関係はなく、むしろD. longispinaが増加するとD. brachyurumが食べられなくなる傾向のあることがわかつた。

近年、しばしば、餌生物が水体中に均一に分布しているものとする、その密度は魚が十分な餌をとることがほとんど不可能と思われるほど低くなることが示され、問題となつている。魚はランダムに餌をあさつてゐるわけではなく、何等かの能率的摂餌法を心得ていると考えられる。このことに関連して、魚の胃内で、餌が種類によつて明瞭に層別されている場合の多いことが注目される(たとえば白石、1961)。餌生物はバツチ状に分布しており、魚はこれを有効に利用しているものと考えられる。

(4) 初期死亡(親子関係)

かつて北海道の浜をうめたニシンの大群の消滅は劇的ですが、その原因は加入量の減少にある。カリフォルニア沖のマイワシ減産の理由も同様であると考えられている。その他にも加入量の大小が資源量を左右しているという例は、浮魚、底魚をとわず、非常に多い。加入

量の大小、あるいは再生産の成功度は、資源の変動要因（漁獲も含めて）の中で最も重要なもののように思われる。加入量の大小は、もちろん親の量、あるいは産卵量に依存してはいるが、それ以上に発生の初期の段階における生残りが重要である。一般に海洋性の魚類では、その卵数は数万から百万以上に達しており、そのほとんど全部が卵仔稚期に死亡してしまう。したがって、初期死亡のほんのわずかの違いで、加入量の数倍の変化も容易に起り得るのである。

以上の様な観点から、初期死亡の研究の重要性が強調されるようになってきた。初期死亡の原因として、もちろん物理的、あるいは化学的環境も重要であるが、一般にこれらは密度独立的であり、またランダムな変動をすると考えられている。またこれらの無機的環境はしばしば生物的環境を通じて作用する。たとえば温度が卵の発生速度を左右し、そのための餌の発生時期とタイミングが影響されるとか、海流によつて仔稚魚が餌料の豊富な水域に輸送される等である。

生物的環境としては、餌と害敵が最も重要な要因と考えられている。外洋性魚類の仔稚の摂餌に関しては、イワシ・ニシンの類で多くの観察や実験が行なわれた。（Schuman, 1965 : Blaxter, 1965 参照）。一般にイワシ、ニシンの類では空胃率が高く、餌を発見しこれをうまく捕獲できるかどうか、生残りに極めて大きな影響をもっていると思われる。仔稚の食害については、害魚等の胃の内容物調査によつて広く認められてはいるが、その定量的研究は少なく、資源学的意義は十分に明らかにはなっていない。

Hempel(1965) はヨーロッパニシンの各系群について、卵の大きさおよび卵数を比較して、極めて興味ある関係を見出した。卵の大きさは夏の産卵群あるいは沿岸性の系群で小さく、冬の産卵群あるいは外洋性の系群で大きい。大きな卵から生れた仔魚は餌をなしでより長期間生存し得るし、また餌をとらえる能力も大きい。仔稚の餌の不足している海域や時期に産卵する系群で卵が大きいということは、初期死亡に対する適応をあらわしている。卵が大きいと卵数は少なくなるが、餌の少ない海域や時期には害敵も少ない傾向があり、食害量が少ないと考えられる。

(5) 群 集

魚類の生産をそれだけ切りはなして考えず、生物生産全体、あるいは大きな物質循環の中でとらえようという試みはLindeman(1941) 以来多くの人々によつてなされてきたが、現在世界的規模で行なわれているIBP(International Biological Program) では、海の群集(Productivity of Marine Communities) および淡水群集(Productivity of freshwater Communities) について、基礎生産、二次生産、魚類生産、および分解というエネルギーの流れの各段階ごとの生産の過程の研究が行なわれている。このような大規模な研究は、少数の研究者、あるいはある特定の専門家だけではとうてい実行不可能であり、多数のいろいろな専門家による協同研究が要求される。そしてその中から、群集の生産という概念が次第に明確になりつつある。

5) これからの問題

以上に述べたように、第二次世界大戦後1950年、1960年代を通じて、水産資源のダイナミクスに関する研究はすばらしい発展をしてきたが、一方未だ明らかにされていない問題も極めて多い。これらの内でも以下に掲げる諸問題は最も重要なものと考えられる。

(1) 開放的資源(回遊魚)のための理論

資源のダイナミクスの理論は、その裏で閉鎖的資源を前提にしている。しかし実際には、比較的移動の少ないある種の底魚でも、漁場内外への移動は必ずみられるし、回遊性の魚類では、むしろその一部のみが、ある時期に漁場内にあらわれるだけである。その時の漁況は、どのくらいの量が漁場内に来遊するか、漁場内においてどの程度濃密群を形成するかによつて左右される。そして、そのこと自体が漁獲の資源に与える影響を左右している。このような、動きをともなつた資源についての理論をうち立てることは、回遊性魚類については本質的に重要である。

漁場外にある資源については、当然のことながら漁獲統計資料はほとんど情報を提供しないわけであるから、研究の方法自身が、従来の漁獲統計解析中心の方法から新しい方向へ進まなければならない。試験船による調査はたしかに有用なものであるが、資料の量からいうと、漁業による統計とは比較にならない。魚探等による魚群調査の重要性が浮びあがってくる。

(2) 再生産の問題

従来の理論は、同一世代内での生長や死亡の問題にかたよつていた。この理論は、多くの魚種でたしかに実用価値があるが、資源変動の法則を追求し、将来の予測をより正確なものとするためには、より重要な部分として再生産の問題を考えなければならない。現在の段階では、子の量の親の量に対する従属関係はほとんど明らかになつていないし、ニシンのように大きな年級変動を示すものについてすら、その変動の原因はわからず、したがつて予測することもできない状態である。

このように研究がおくれているのは、その困難さによるものであるが、特に漁獲統計の解析によつては問題に接近しにくいと、従来の研究の中で取り残されてしまつたとも考えられる。再生産に関連した生態、たとえば産卵、初期死亡に関する基礎的研究の必要性が痛感される。

(3) 環境の問題

水産資源のダイナミクスの理論にとつて、環境の問題は一つの立きどころである。理論は、環境は不変であるか、あるいはある平均のまわりにランダムな変動をしているということを前提としている。そのために、環境がある異常な変動を示すと、理論はたちまちその弱さを暴露してしまうのである。そして、環境とは常にそのような異常な変動をしているものなのである。

環境は資源のいろいろな面に影響する。生長量は餌の量のような生物環境、温度のような無機環境によつて変化する。産卵の成功率、初期死亡の大小は、環境の良不良によつて決定的に左右される。漁場への来遊、分布、回遊は海況によつて異なるし、そのために漁況が決定される。このように見てくると、環境の問題とは、即ち生長の問題であり、再生産の問題であり、

開放的資源の問題でもある。結局、分布、回遊、死亡、摂食、生長、再生産等の生態に関する基礎研究が必要であるということになる。

(4) む す び

以上の議論から明らかなように、水産資源のダイナミックスの研究は、もはやそれ自体で独立して存在し得るものではなく、その発展は、より基礎的研究に深く依存していることがわかる。そしてまた、生長や初期死亡に関する研究の発展のあとをたどつてみれば明らかなように、基礎研究は、水産資源のダイナミックスの研究に刺激されて進んできているのである。

参 考 文 献

- Baranov, T. I. (1918) 漁業における生物学的基礎の問題、水産庁、漁業科学叢書, 1, 48 p. (笠原、深滝訳, 1951)。
- Bertalanffy, L. von (1938) A quantitative theory of organic growth, *Hum. Biol.*, 10(2), 181—213.
- Beverton, R. J. H. (1953) Some observation on the principle of fishery regulation, *J. Cons. perm. int. Explor. Mer*, 19(1), 56—68
- Beverton, R. J. H. and Holt, S. J. (1957) On the dynamics of exploited fish population, *Fishery Invest.*, Lond., Ser. II, 19, 553p.
- Beverton, R. J. H. and Holt, S. J. (1959) A review of the lifespans and mortality rates of fishes in nature, and their relation to growth and other physiological characteristics, in *Ciba Foundation Colloquia on Ageing*, ed. by Worstehalm C. E. W. and O'Connor M., London, J. and A. Churchill Ltd., vol. 5, 142—180
- Blaxter, J. H. S. (1965) The feeding of herring larvae and their ecology in relation to feeding, *Rep. Calif. coop. ocean. Fish. Invest.*, 10, 79—88
- Cushing, D. H. (1967) The acoustic estimation of fish abundance, in *Marine Bioacoustics*, ed. by Tavolga, W. N., Pergamon Press, Oxford, vol. 2, 75—91
- 土井長之 (1962a) 日本近海魚種の魚種間相互関係の解析についての研究、東海水研報, 3, 2, 49—121
- 土井長之 (1962b) カムチャツカ西海岸のタラバガニの資源診断、*ibid.* 3, 3, 11—19
- Doi, T. (1962c) Dynamical relationships between variations of

- the Antarctic fin whale catch and catcher's day's work,
日本水産学会誌, 28(12), 1168—1172
- Garrod, D.J. (1967) Population dynamics of the Arcto-Norwegian cod, *J. Fish. Res. Bd Can.*, 24(1), 145—190.
- Cordon, H.S. (1953) An economic approach to the optimum utilization of fishery resources, *J. Fish Res. Bd Can.*, 10(7), 442—457.
- Graham, M. (1935) Modern theory of exploiting a fishery, and applications to North Sea trawling, *J. Cons. perm. int. Explor. Mer.*, 10(3), 264—274.
- Gulland, J.A. (1955) Estimation of growth and mortality in commercial fish populations, *Fishery Invest. Lond., Ser. II*, 18(9), 46 p.
- Hempel, G. (1965) On the importance of larval survival for the population dynamics of marine food fish, *Rep. Calif. Coop. Ocean. Fish. Invest.*, 10, 13—23
- Ishii, T. (1967) Studies on estimating parameters of a fish population supplied by sequential recruitment—II. A method of simultaneous estimation by minimizing the tracing index
日本水産学会誌, 33(8), 738—745.
- Ivlev, V.S. (1955) 魚類の栄養生態学, 新科学文献刊行会, 米子, 261 p. (児玉、吉原訳, 1965).
- Kodama, Y. (1960) Studies on the specific growth of freshwater fishes referring to the weight increase of individual and population —II., *淡水研報*, 9(2), 43—57.
- Kodama, Y. (1963) Growth related to behavior of ayu, *Plecoglossus altivelis*, reared under low density, *Reserches Popul. Ecol., Kyoto Univ.*, 5(2), 65—73.
- 黒木敏郎・久新健一郎・川島利兵衛・佐藤修 (1965) 輪紋自動計測記録装置の研究, *北大水産葉報*, 16(2), 83—113
- Lindeman, R.L. (1942) The trophic-dynamic aspect of ecology, *Ecology*, 23(4), 399—418.
- 三谷文夫・庄島悦子 (1966) 東支那海におけるマアジ資源の研究—III. 自然死亡係数と漁獲係数, *日本水産学会誌*, 32(1), 57—63
- Miura, T. (1966) Competitive influence of isaza, *Chaenogobius*

- isaza, on ayu, *Plecoglossus altivelis*, in Lake Biwa, Reserches Popul.Ecol., Kyoto Univ., 8(1), 37-50
- Nagoshi, M. (1966) Ecological studies on the population of isaza *Chaenogobius isaza* TANAKA, in Lake Biwa with special reference to the effects of population density upon its growth, Reserches Popul.Ecol., Kyoto Univ., 8(1), 20-36.
- Paloheimo, J.E. (1958) A method of estimating natural and fishing mortalities, J.Fish.Res.Bd Can., 15(4), 749-758.
- Paloheimo, J.E. and Dickie, L.M. (1965) Food and growth of fishes -I. A growth curve derived from experimental data, J.Fish. Res.Bd Can., 22(2), 521-542
- Parker, R.R. and Larkin, P.A. (1959) A concept of growth in fishes, J.Fish.Res.Bd Can., 16(5), 721-745
- Ricker, W.E. (1954) Stock and recruitment, J.Fish.Res.Bd Can., 11(5), 559-623
- Ricker, W.E. (1958) Handbook of computations for biological statistics of fish populations, Bull.Fish.Res.Bd Can., 119, 300p.
- Russell, E.S. (1931) Some theoretical considerations on the 'overfishing' problem, J.Cons.perm.int.Explor.Mer, 6(1), 3-20
- Schaefer, M.B. (1957) A study of the dynamics of the fishery for yellowfin tuna in the eastern tropical Pacific Ocean, Bull.inter-Am.trop.Tuna Commn, 2(6), 245-285
- Schumann, G.O. (1965) Some aspect of behavior in clupeid larvae, Rep. Calif. coop.ocean.Fish.Invest., 10, 71-78
- 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, 淡水研報, 10(3), 263p.
- 白石芳一・古田能久 (1963) 魚群探知機による神奈川県芦ノ湖の魚族分布と資源尾数の推定に関する研究, 淡水研報, 13(1), 57-76.
- Silliman, R.P. (1943) Studies on the Pacific pilchard or sardine (*Sardinops caerulea*)-5 A method of computing mortalities and replacements, Spec.scient.Rep.U.S.Fish.Wildl.Serv., 24, 1-10
- Silliman, R.P. (1966) Estimates of yield for Pacific skipjack and bigeye tunas, Proceed.Governor's Conference on Central

- Pacific Fishery Resources, State of Hawaii, Honolulu, 243
—249
- Silliman, R.P.(1967) Analog computer models of fish populations, Fishery Bull.U.S.Fish Wildl.Serv., 66(1), 31—46
- Silliman, R.P.and Gutsell, U.S.(1958) Experimental exploitation of fish populations, Fishery Bull.U.S.Fish wildl.Serv. 133 215—252
- 田中昌一(1954) 漁獲努力量制限の効果について、日本水産学会誌, 20(7), 599—603
- 田中昌一(1957) 資源量の相対指数と有効漁獲努力量、東海水研報, 17 1—13
- 田中昌一(1960) 水産生物の population dynamics と漁業資源管理, 東海水研報, 28 200 p.
- Taylor, C.C.(1958) Cod growth and temperature, J.Cons.perm.int. Explor. Mer, 23(3), 366—370
- Thompson, W.E.and Bell, F.H.(1934) Biological statistics of the Pacific halibut fishery (2) The effect of changes in intensity upon total yield and yield per unit of gear, Rep. int.Fish.Commn, 8, 49p.
- Volterra, V.(1928) Variations and fluctuations of the number of individuals in animal species living together, J.Cons. perm.int.Explor.Mer, 3(1), 3—51
- Walford, L.A.(1946) A new graphic method of describing the growth of animals, Biol.Bull.mar.biol.Lab., Woods Hole, 90 (2), 141—147
- Widrig, T.M.(1954) Method of estimating fish populations, with application to Pacific sardine, Fishery Bull. U.S.Fish Wildl.Serv., 94, 141—166
- 山中一郎(1954) 体長制限の効果について—I., 日水研研究年報, 1 119—126

質 疑 応 答

松平康男：鼠を退治するのに population dynamics を応用し、旧理論を再検討されるお考えはないか。鯨資源などでは資源の検討はなしうらと思うが。

動物の大増殖を資源の上からどう考えるか。

答：害獣、害虫防除は、それぞれの対象の特性に応じて研究され、それぞれ成果があげられており、

その成果は水産資源学の中にも反映されている。しかし、これらの研究は共通した多くの問題をかかえている。今後も他の多くの生物の個体群生態学者とも力を合わせて研究を進めたい。鯨といわず、すべての資源について理論の検証の試みは続けられている。南氷洋の鯨は、研究者の予想通り、資源は衰退してしまつた。

大増殖の問題は、再生産の問題として研究されているが、水産資源ではもちろん、陸上生物でも原因はあまりわかつていない。いくつか(かなり少数)の条件の組合せがこのような結果をもたらすと考える。資源の管理、漁況の予測のために極めて重要な問題である。

花村宣彦：経済研究と population dynamics の結びつけについて、単一社会経済体制の中では比較的実際に問題となり得るように思うが、異なる社会経済体制の多数国間の共通の資源管理基礎としての数量動態研究と経済研究との結びつけは容易ではない。このことに関して意見を求む。

今までの population dynamics は大まかには数量的面を偏重的に取扱つて来たように思う。今後は数(頭数)量(量)と質(発育、生長、成熟、繁殖能 etc.)の統一体としての population の取扱ひ理論の発展を計らねばならない。このことについて意見を聞きたい。

答：漁業は、生物と海と人間の3つの系の組合さつたものであるから、資源管理の基礎として、生物の dynamics だけでなく、経済的問題を同様に考慮しなければならない。しかし、生物の系と人間の系は全く異なつた運動法則をもつていたので、生物の系としての資源学にいたずらに経済問題を持ちこむことは、資源学自身の混乱をもたらすおそれがある。資源学、経済学のしつかりした基礎をふまえた上で、むしろ人間の系としての漁業学を考慮すべきであろう。

従来の研究においては、発育、生長等の質は固定的ないし等質なものとして数量変動を論じていた。これは研究の水準がその程度のものであつたということだと思ふ。このような質の面をとりあげるためには、質の面における諸法則を明らかにしなければならない。生態学的基礎研究が極めて重要である。当然これからの資源学はこの方向へ進むと考える。

山中一郎：population dynamics に環境を導入しようとするとき、単に一方のパラメタを他方の関数として取扱うというようなことは、元来次元の異なる系の一つの他に投ずる projection を取り上げているという機械的操作にすぎないと思われる。この点について。

答：ご指摘の通りであると思ふ。環境問題は、従来の漁況・海況論でとりあげていたような面だけでなく、生物と環境という本質的な面から考えるべきである。たとえばある資源で、仔魚の生残に高温が好都合であるという結果が一方で出されると、他方で高温では都合が悪いということを示唆する事実が得られるということが、しばしば現実に起つている。生残りの機構が明らかにならなければ、この問題は解決されない。