

17. 深層水利用による海域の肥沃化

中島 敏光^{*1} 豊田 孝義^{*1}

近年、200海里漁業管理水域設定という国際的海洋新秩序の出現により、漁業生産量の約 $\frac{1}{3}$ を諸外国沿岸水域に依存しているわが国水産業は多大な影響を受けている。

本報告では200海里漁業管理水域設定に伴うわが国水産業のおかれた現状、およびこれらに対応する水産生物資源増大技術として、栄養塩類に富む深層水を利用する海域の肥沃化技術について述べる。

Report on Fertility of the Sea by Utilizing Deep Seawater

Toshimitsu Nakashima,^{*2} Takayoshi Toyota^{*2}

In recent years, many coastal countries have created a right of the 200-mile fisheries jurisdictional waters. Because more than 30 % of Japanese fishing production comes from such foreign restricted areas, Japanese fisheries are forced to decrease their production.

The present report describes the recent situation of Japanese fisheries affected by worldwide tendency of setting the 200-mile zones and also outlines the sea fertility system by utilizing nutrient-rich deep sea water to contribute for promoting Japanese fishing production.

1. はじめに

全地球表面積の約70%を占める海洋は、その水平的広がりもさることながら、垂直的にも平均水深約3,800mを有し、その全容積は 1.37×10^{21} tという、^{ぼう}膨大な海水量を保持している。また、この茫洋たる海洋は生物の生息、活動の場、物質循環の場、あるいはエネルギー輸送の場として、きわめて重要な役割を果たす機能を備えている。

近年、国際的動向として、エネルギーおよび鉱物資源の問題、または人口増加に伴う食料資源問題等に関する研究がクローズアップされ、これらの問題に対する一方策を海洋の場に求める傾向も年々高まっている。しかし、海洋に視点を向けてみると、200海里漁業水域および経済水域等の設定にみられるように、本来、共有的性格の海洋も現在の国際的情勢下では、海洋分割管理時代へと

変遷し、技術的進歩によることもさることながら、国家レベルでの制約による面で、“広き海”も“狭き海”へと変貌しつつあると言えよう。資源小国であり、海洋国であるわが国の海洋への依存度が、今後、ますます高まることを考えるに、このような国際情勢の下では、積極的な諸外国との協調の中で、海洋の有効利用を計るとともに、一方、わが国、周辺水域での斬新な利用形態およびこれに伴う技術の研究および開発が押し進められる必要がある。

本報告では、海洋における生物資源利用の観点から、200海里漁業水域設定に伴う、わが国の海洋生物資源生産の現状を考えるとともに、海洋生物資源量の増大技術の一助として、現在研究中的“海洋における基礎生産力の促進、増大に関する深層水の利用”についての概要を述べる。

^{*1} 海洋保全技術部

^{*2} Marine Conservation Technology Department.

2. 海洋新秩序の形成とわが国の漁業の現状

2.1. 諸外国における200海里漁業水域設定の現状

1945年、米国の大陸棚宣言後、ラテンアメリカ諸国、特にペルー、エクアドルおよびチリの3国は沿岸200海里水域に対する主権および管轄権を主張するとともに、200海里水域内での漁業資源の独占的政策を実施してきた。一方、1958年以来、国連海洋法会議が開催され、領海を国際的に統一しようとする努力がされてきた。

しかし、漁業に関する限り、第3次国連海洋法会議の結論を待たずして、1976年4月、米国が“1976年漁業保存管理法”を成立させ、1977年3月1日以来、200海里漁業水域の設定を決定した。このような動向を契機とし、メキシコ、カナダ、EC(欧州共同体)、北欧諸国、さらにソ連等の各国が、相次いで200海里漁業水域、ないし経済水域を設定し、わが国もこれらの国際動向に対応し、1977年7月、200海里漁業水域設定を宣言するに至った。

1978年1月1日の時点では、200海里漁業水域または経済水域設定済みの国は42箇国、法律を設定したが実施していない国および設定方針を決定した国は約20箇国、これらに領海200海里を設定している国13箇国を加えると世界の沿岸国約100箇国(属領を含み内陸国を含まない。)のうち、7割余に達し、今や200海里漁業水域時代は国際的情勢として現実のものとなっている⁷⁾。

2.2. 200海里漁業水域設定に伴うわが国漁業の受ける影響

わが国の近年の漁業生産量を1974年、1975年および1976年についてみると、それぞれ1080万t、1050万tおよび1070万tであり、1000万t台の生産量を確保している。そのうち、外国距岸200海里水域内での生産量は、426万t、374万tおよび350万tに達しており、漁業総生産量の約1/3以上の生産量を外国距岸200海里水域内に依存している(表1参照)⁷⁾。

一方、わが国の水産物利用状況についてみると、食用および非食用合わせて1,000万tをこえる消費量であり、国民1人当たりの水産蛋白消費量は諸外国に比べて著しく大きい(表2参照)^{4,8)}。

また、わが国の国民1人、1日当たりの動物性蛋白質摂取量のうち、近年、畜産物における消費

表1 わが国海面漁業の水域別生産量の推計

Estimations on Japanese fishery production in world waters

(単位: 1000トン)

水 域	1974年	1975年	1976年	構 成 比 (%)		
				1974年	1975年	1976年
1外国距岸200海里以内水域での生産量	4,256	3,744	3,506	43.7	39.1	36.5
うち						
米 国	1,585	1,410	1,348	16.3	14.7	14.0
ソ 連	1,630	1,396	1,229	16.7	14.6	14.0
中 国	180	152	118	1.9	1.6	1.2
韓 国・北朝鮮	209	241	207	2.1	2.5	2.2
オーストラリア	18	12	18	0.2	0.1	0.2
ニュージーランド	78	80	166	0.8	0.8	1.7
カナダ	26	21	25	0.3	0.2	0.3
その他の他	530	432	395	53.7	57.5	59.2
2我が国距岸200海里以内水域での海面漁業生産量(海面養殖業、内水面漁業養殖業を除く)	5,236	5,503	5,682	53.7	57.5	59.2
3上記以外での水域の生産量	257	326	417	2.6	3.4	4.3
海面漁業生産量(合計)	9,749	9,573	9,605	100.0	100.0	100.0
(参考) 漁業総生産量(海面養殖業、内水面漁業養殖業を含む)	10,808	10,545	10,656	-	-	-

(水産庁資料による)

表2 世界各国の国民1人当たり期待できる漁場面積と現在の水産蛋白消費量を確保するために要求される漁場の生産性(試算)

Fishing ground area per person and fishery protein consumption per person per day in major fishery countries

国 名	国民1人当りの大陸棚面積 (A) (m^2)	国民1人・1日当りの水産蛋白消費量 (B) (gram)	単位大陸棚面積当りの必要生産量指数 ($3 \times 10^4 / A$)
オーストラリア	156,793	1.7	11
ニュージーランド	74,058	1.2	16
カナダ	43,351	2.5	58
ノルウェイ	39,863	7.3	183
チリ	20,940	3.7	177
インドネシア	11,666	3.5	300
米 国	8,365	2.5	299
ソ 連	7,033	3.0	427
日 本	2,226	17.9	8,041

注: B/Aは現在消費している水産蛋白を全部自国の大陸棚に依存する場合に必要な「単位面積当りの生産量」

(農林水産技術会議事務局資料による)

表3 1人1日当たりの供給動物性蛋白質の推移

Annual change of supplied animal protein products per person per day in Japan

	1960年	1965年	1970年	1974年	1975年	1976年
実 数						
合計	21.2	26.9	31.8	35.1	35.7	36.3
水産物	15.6	16.4	16.6	18.0	18.1	17.9
畜産物						
肉類	1.7	3.5	6.0	8.1	8.5	9.1
鶏卵	2.2	4.0	5.2	4.9	4.9	5.0
牛乳・乳製品	1.7	3.0	4.0	4.1	4.2	4.3
小計	5.6	10.5	15.2	17.1	17.6	18.4
構 成 比 (%)						
合計	100	100	100	100	100	100
水産物	74	61	52	51	51	49
畜産物						
肉類	8	13	19	23	24	25
鶏卵	10	15	16	14	14	14
牛乳・乳製品	8	11	13	12	12	12
小計	26	39	48	49	49	51

(農林水産省「食料需給表」による)

量が漸増してはいるが、その約半分は水産物に依存している(表3参照)⁷⁾。

このようなわが国の水産物利用の現状を考えるに、諸外国距岸200海里水域内に依存する漁業生産は、200海里漁業水域規制によって、約350万tの減産を余儀なくされ、食糧生産体制および需給体制に大きな影響を受けることは明らかである。仮に關係諸国との漁業交渉によって、わが国の実績漁獲量の1/2が確保されたとしても約200万tの減産が見込まれるとされており⁴⁾、これらの減産量並びに将来増大すると推定される水産物消費量に対応する生産供給量の確保を計る必要がある。

2.3. わが国周辺水域における漁業生産体制の現状

200海里漁業水域設定に伴うわが国の減産量並びに将来増大することが推定される水産物消費量等への対応策として、国土の周辺水域における生産体制の強化を計ることが重要になってくる。しかし、わが国の周辺水域での漁業生産の大部分は、漁船漁業（遠洋漁業、沖合漁業および沿岸漁業を指す）によって占められている。これらの生産量はこの数年間あまり増加はみられず、横這いの状態になっている。

一方、過去10年間の増一養殖漁業による生産量の年成長率は8~10%に達していることが推定（表4参照）⁴⁾される。

表4 わが国における漁業生産量の推移

Annual change of Japanese fishery production
(単位: 1000トン)

年次	遠洋漁業	沖合漁業 (内は我が国 200海里内漁獲)	沿岸漁業	養殖業
1965年	1,733	2,788	1,860	380
1966年	1,912	2,733	1,872	405
1967年	2,403	2,828	2,011	470
1968年	2,830	3,158	2,004	522
1969年	3,165	2,949	1,862	473
1970年	3,429	3,279	1,889	549
1971年	3,674	3,541	1,934	609
1972年	3,905	3,591	1,902	648
1973年	3,988	3,984	1,820	791
1974年	3,698	4,178(3,362)	1,874	880
1975年	3,168	4,469(3,568)	1,935	772
1976年	2,949	4,656(3,682)	2,000	850
1977年	2,643	4,873(?)	2,133	841

注: 1975年における養殖生産の内訳
魚類 98 貝類 272 藻類 396

(農林水産技術会議事務局資料による)

漁船漁業および増一養殖漁業の総生産量から判断し、この数年間の年成長率は1~2%に過ぎないと見積もられている。このようなわが国の周辺

水域における生産体制のもとでは、外国200海里漁業水域における減産量等に対応する生産量を確保することは現状では困難であり、今後、需要に応じた水産物の安定供給を計るためには、さらにわが国の周辺水域の有効利用、水産増一養殖技術の強化、漁場の確保と開発、水産物利用技術の強化等が必要であろう。

3. 深層水利用による海域の肥沃化

3.1. 深層水利用による生物資源増大技術の可能性

200海里漁業水域規制という、国際的動向に対するわが国の漁業生産（海洋生物資源利用）の現状およびその影響は前項で述べた。

これらの対応策として、技術的側面から考えると、既往の水産物生産技術水準を現状の問題等に即して高めることと並行して、既往の生産技術体系から脱皮した先駆的生物資源増大技術の開発研究を推進することが重要である。果して、そのような先駆的な生物資源増大技術というものがあるだろうか？ 一つの可能性があげられる。

深層の水が上層の生産層に回帰する湧昇海域、例えばペルー沖合、カリフォルニア沖合、アフリカ北西岸沖合海域等では、植物プランクトンが豊富で、基礎生産力（植物プランクトンによる単位容積、単位時間内の有機物生産速度）が大きく、肥沃な海域を形成し、その結果、その関連水域での魚類等の資源量も増大している。

Ryther⁶⁾ (1969) は海洋を外洋、沿岸および湧昇海域の三つに類別し、基礎生産力および魚類生産について推定した（表5参照）。

表5 世界の海洋の1次生産と魚類生産の推定値

Division of the ocean into provinces according to their level of primary organic production (Ryther, 1969)

面積 Area and percentage of ocean	平均生産力 gC/m ² /年 mean productivity	全生産量 10 ³ tonC/年 Total productivity	栄養段階 の数 Trophic levels	栄養段階の 間の効率 Efficiency	魚類生産 ton (生量) fish production		
						km ²	%
外洋 Open ocean	326×10 ⁶	90	50	16.3	5	10	16×10 ⁵
沿岸海域 Coastal zone	3.6×10 ⁶	9.9	100	3.6	3	15	12×10 ⁷
湧昇水域 Upwelling areas	3.6×10 ⁵	0.1	300	0.1	1.5	20	12×10 ⁷
合計 Total				20.0			24×10 ⁷

この表によれば、湧昇海域の平均基礎生産力は沿岸海域の約3倍、外洋海域の約6倍であり、しかも全海洋面積の0.1%に過ぎない。この湧昇海域で、世界の総魚類生産の半分を占めていると見積られている。

一つの可能性とは、このような自然の湧昇海域

にみられるような高い生物生産機構を、人工的に再現させようとする試みである。つまり、わが国の周辺の生産性の低い海域で、深層の水を利用することによって、その海域の肥沃化を計り、潜在的生物生産能力を高めて生産性の高い漁場の造成または水産生物資源の扶養および増大に結びつけようとするものである。

3.2. 深層水とは

表6は日本海海域(A点), 黒潮影響海域(B点 C点およびD点) および親潮影響海域(E点)で調べた表層水(水深0.5m)と深層水(水深500~600m)の水質性状の比較を示す。

表6 日本海, 親潮影響水域および黒潮影響水域における表層水と深層水の水質性状の比較

Comparison of water characteristics between deep and surface sea water at the various sampling stations

採水調査点 Sampling station	A 舞鶴沖合 off Maizuru		B 富士沖合 off Fuji		C 松崎沖合 off Matsuzaki		D 大島沖合 off Oshima		E 宮古沖合 off Miyako	
採水調査年月日 Sampling date	1976年10月23日 Oct. 23 1976		1977年4月26日 Apr. 26 1977		1977年6月20日 Jun. 20 1977		1977年6月4日 Jun. 4 1977		1977年7月26日 Jul. 26 1977	
水深(m) Depth	0.5	500	0.5	500	0.5	500	0.5	600	0.5	510
現海水温(°C) Temperature	20.4	0.3	17.0	6.5	23.1	6.3	21.6	5.7	20.8	5.8
塩分(‰) Salinity	33.307	34.155	33.613	34.431	34.295	34.345	34.606	34.384	33.416	34.164
pH	8.2	7.7	8.2	7.6	8.1	7.7	8.1	7.7	8.2	7.7
溶存有機炭素量 (mg/l) Dissolved organic matter	1.5	0.6	1.1	0.7	1.0	0.7	0.6	0.6	1.5	0.6
無機栄養塩類 (μg-at/l) Inorganic nutrient salts										
アンモニア塩 NH ₄ -N	0.8	0.7	6.1	3.3	1.1	1.1	2.2	1.1	0.6	0.6
亜硝酸塩 NO ₂ -N	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
硝酸塩 NO ₃ -N	0.3	25.0	1.3	30.6	0.5	29.2	0.3	26.8	0.4	43.4
磷酸塩 PO ₄ -P	0.2	1.5	0.2	2.2	0.2	2.2	0.2	2.3	0.2	3.2
珪酸塩 SiO ₄ -Si	7.7	122.0	20.0	74.9	6.7	79.9	8.3	91.5	3.0	121.0

無機栄養塩類, 特に硝酸塩, 磷酸塩および珪酸塩濃度は, 各海域の表層水では低く, 深層水では高濃度となっている。pHは, 各海域表層水とも, 8.1~8.2の範囲であり, 深層水では7.6~7.7の範囲で, 表層水に比べて深層水は低い値を示している。溶存有機炭素濃度は, 各海域によって違いが認められるが, 一般に表層水では高濃度であり, 深層水では低濃度である。また, 水温は, 表層水では高く, 深層水では低くなっている。このように, 深層水は, 表層水に比べて種々の特性を有しており, 特に植物プランクトンの生長に必要な無機栄養塩類が豊富に存在している。深層水を利用して, 海域の肥沃化(基礎生産力の強化)を計るためには, さらにその生物学的特性および環境学的特性等が解明される必要がある。

一般に深層水の特長として, 以下の要素があげられよう。

- (1) 植物プランクトンおよび海藻類の生長に必要な無機栄養物が豊富に存在する
- (2) 溶存有機物や懸濁物質が少ない
- (3) pHが低い
- (4) 低水温で, 安定した化学および物理特性を有している
- (5) 人間に影響する病原菌, 魚貝類に宿る寄生虫, 付着生物等が少なく, 無菌的である
- (6) PCB (poly chlorinated biphenyl, ポリ塩化ビフェニール), 殺虫剤等の人工汚染物が少ない

3.3. 海域の肥沃化技術システム

わが国の200海里漁業水域の面積は, 約450万km²で世界第7位であり, そのうち, 大陸棚(水深200m以浅層)面積は約44万km²で世界第10位である。この面積の約9割が, 200m以上の水深を有し, その中でも, 1,000~6,000mの深度を有する面積は約8割を占めている。

図1は, わが国の海岸線から3km以内に500m等深度線がみられる海域(斜線部)を示す。

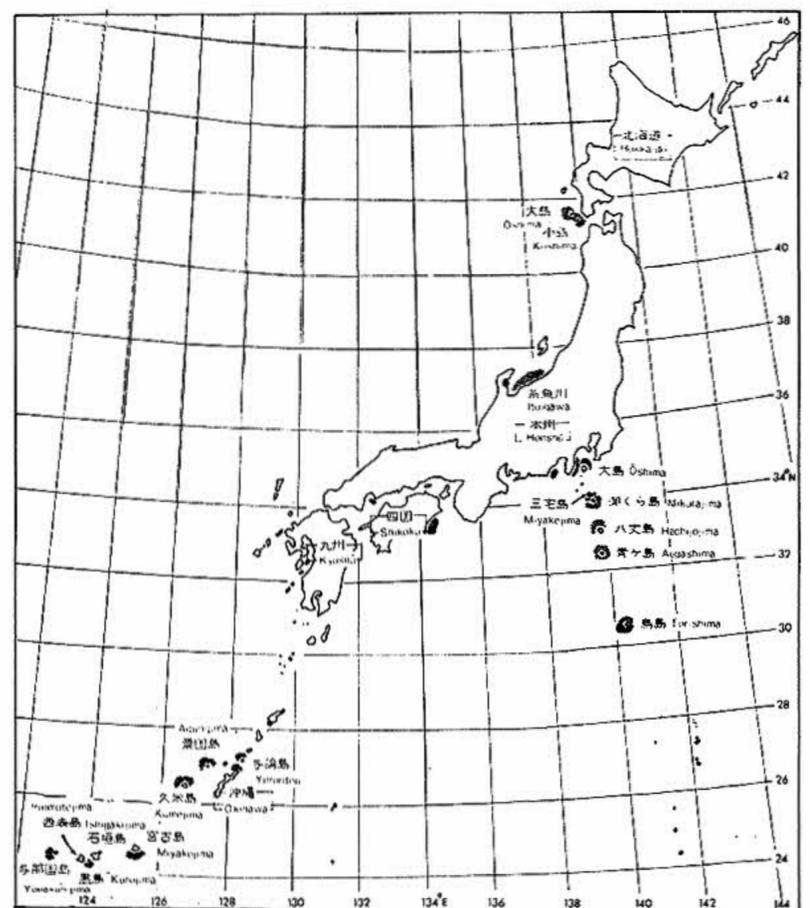


図1 海岸線より3km以内に500m等深度線がみられる水域(斜線部)

Water areas having the 500m isobath within 3kilometers from shoreline of Japan islands

この図からわかるように, 深層の水を有効に活

用し、生産性の高い海域の造成並びに水産生物資源量の増大を計ろうとする試みに対し、わが国の200海里漁業水域内の地理的条件は有利な条件の一要素であろう。

本項で述べる“海域の肥沃化技術システム”とは、このような地理的条件を踏まえ、図2に示すような海洋の食物連鎖過程の中で、植物プランクトンの成長に必要な無機栄養塩類に富む深層の水を貧栄養状態にある上層の生産層に人工的に湧昇回帰させ、海洋における生物生産の基礎となる植物プランクトンを適正、かつ有効に増殖させながら海域の基礎生産力の強化を図る生産技術システムを意味する（図2の破線内についての技術体系）

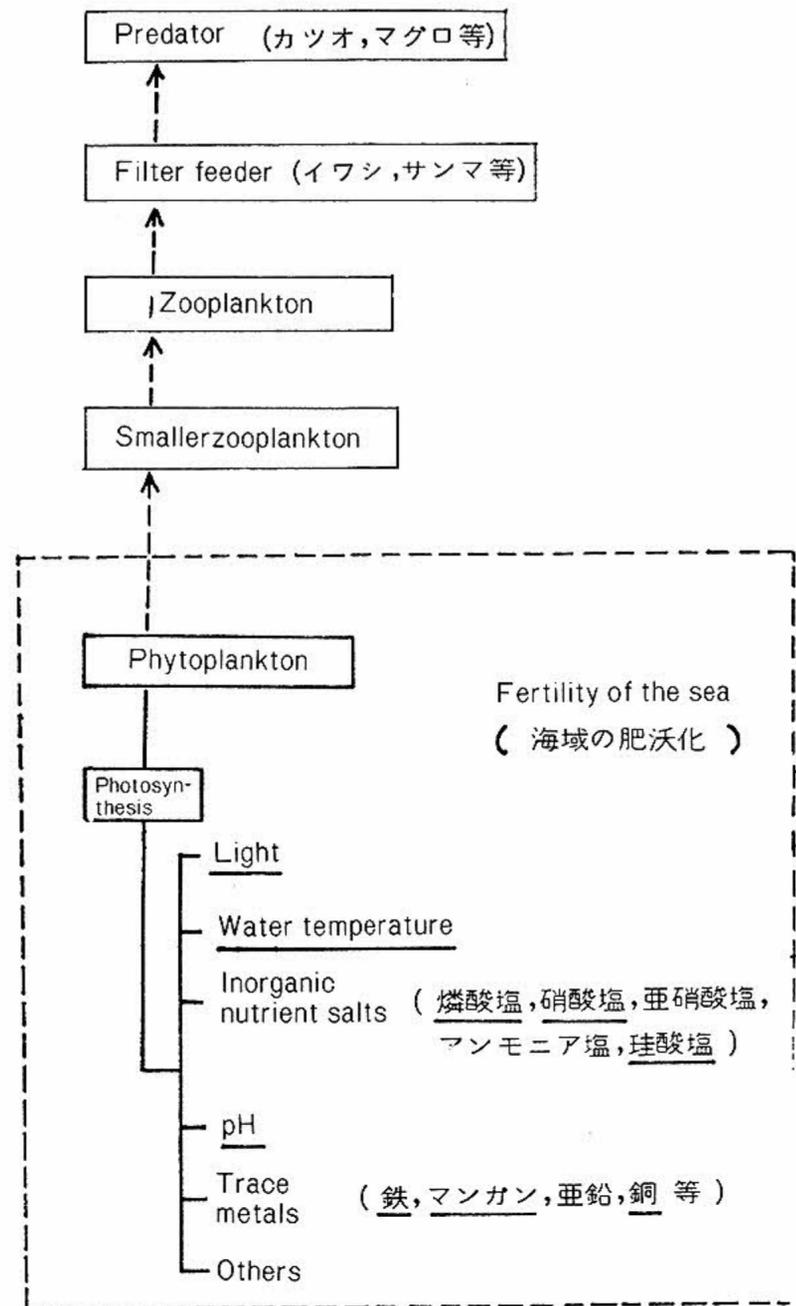
この生産技術システムによって、自然湧昇海域にみられる高い基礎生産力を人工的に低い基礎生産力の海域で再現させ、生産性の高い漁場の造成や水産生物資源量の増大に結びつけようとするものである。

図3には深層水利用による生物資源増大技術の模式図を示す。

人工湧昇技術方式によって以下の2形態に分けた。

(1) ポンピング方式による人工湧昇システム

この方式は、所定深度層からパイプを通してポンプを稼働して揚水し、深層水の低水温の特



注：破線内の下線部項目は特に植物プランクトンの生長に影響を及ぼす因子

図2 海洋における食物連鎖機構

Mechanism of marine food chain

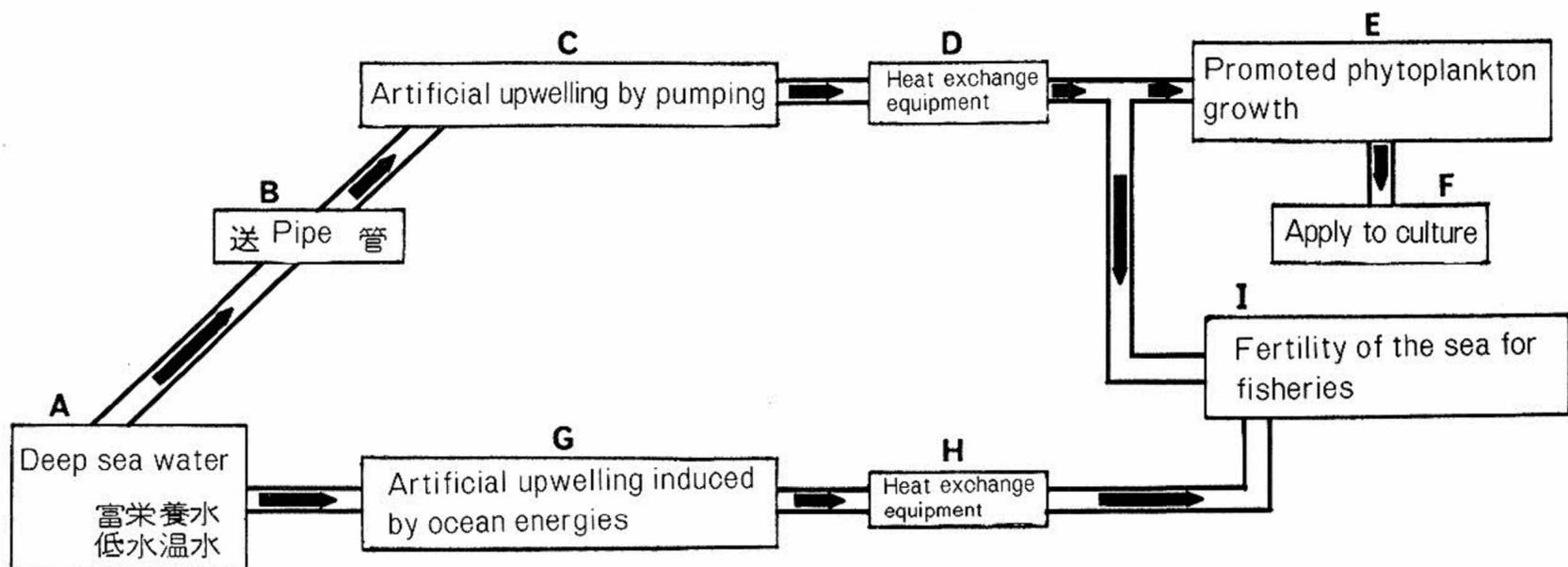


図3 深層水利用による生物資源増大技術システムの模式図

Schematic diagram of sea fertilization by utilizing deep sea water

性を利用する熱交換部（例えば発熱体冷却部や低温倉庫等に利用）に入れる。熱交換部を経由して水温を上昇させた深層水を陸上の水槽施設に注水し、ここで餌料植物プランクトンを増殖させ、これらの植物プランクトンを利用して、有用水産物の育成を計る（図のA-B-C-D-E-Fシステムで、既往の生産技術としては養殖技術形態に結びつく）。

また、直接、水温上昇させた深層水を自然海域の貧栄養生産層に放出し、その海域の基礎生産力の強化を計り、生産性の高い海域を造成する（図のA-B-C-D-Iシステムであり、既往の生産技術としては増一養殖技術形態に結びつく）。

(2) 海洋エネルギー利用方式による人工湧昇システム

この方式は、海洋のもつ自然エネルギー、例

えば潮汐、流れ、波力等を利用して所定深度層の深層水を揚水し、昇温処理後、直接、海域の貧栄養生産層に放出し、その海域の基礎生産力の強化を計り、生産性の高い海域を造成する（図のA-G-H-Iシステムで、既往の生産技術としては、増一養殖技術形態に結びつく）。

以上、人工湧昇技術方式によって2形態に分類したが、本報告で意図しているのは、(1)形態の陸上施設における深層水利用システム（A-B-C-D-E-Fシステム）を除いたもので、深層水を海域の貧栄養生産層に回帰させ、その海域の基礎生産力の強化を計る(1)技術形態（A-B-C-D-Iシステム）および(2)技術形態（A-G-H-Iシステム）である。

図4はこれらの概念図を示す。

ポンピング方式の(1)形態（図の①—②—③—④システム）は主に陸上依存型のシステムであり、

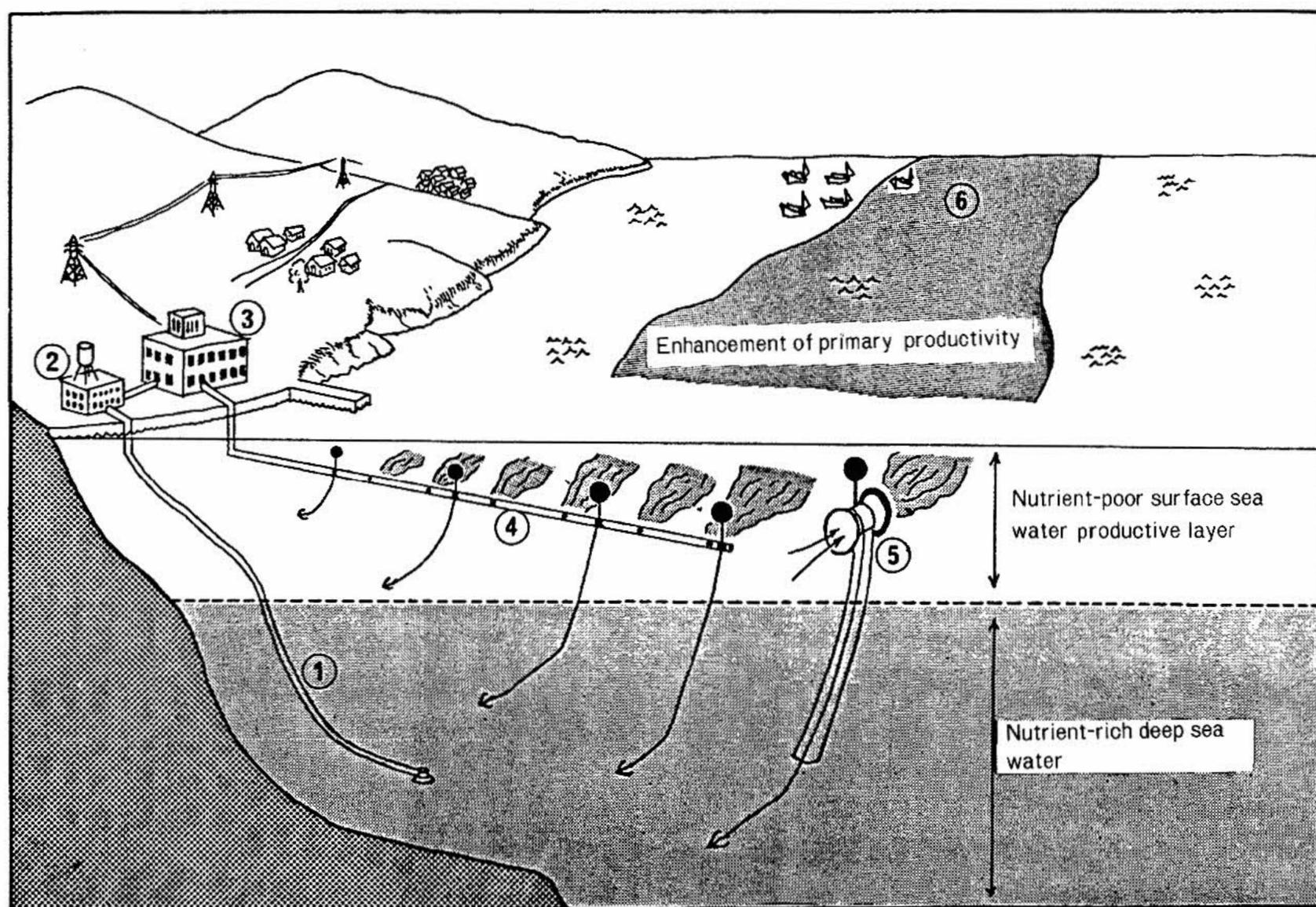


図4 深層水人工湧昇システムによる海域の肥沃化技術の概念図

Conceptual design of sea fertilization by utilizing deep sea water

1：パイプライン 2：ポンプ設備 3：熱交換施設（例：発電所冷却部, 低温倉庫, 淡水製造施設, エアコン設備, その他の発熱体冷却部）4：深層水吐出パイプライン 5：海洋エネルギー利用による人工湧昇装置（例：温度差利用, 波浪利用, 海・潮流利用, 風力利用）6：漁場形成

1: Pipe to deep sea water 2: pump 3: heat exchange equipment
4: connecting pipe 5: equipment of artificial upwelling induced by ocean energies 6: fertility of the sea for fisheries

海洋エネルギー利用方式の(2)形態(図の⑤システム)は主に海洋場依存型のシステムであるといえよう。

3.4. 深層水利用による海域肥沃化技術システムの開発研究の進め方

深層水を利用して、自然湧昇海域にみられるような高い生物生産機構を人工的に制御、管理し、それを活用するということは、水産分野での研究者や関係者の間で過去、幾度かは考えられたこともある。しかし、これらの考えはわが国では実験段階まで発展していない。

発展しなかった理由の一つとして、この種の生産技術体系は生物学、化学、物理学、工学などの幅広い科学技術が有機的に結合され、かつ社会的経済的基盤に適合して初めて成立する技術体系であるため、例えば、技術が先行しても社会的、経済的基盤に適合しなければ、生産技術体系としては必ずしも成立しないという生産技術体系の基本的背景があげられよう。つまり、深層水を利用した海域の肥沃化システムが技術的に可能であったとしても、現在の水産技術(増養殖技術、生産物加工技術等)水準では、必ずしも有用生物の生産に結びつけることができないか、もしくは水産業としての基盤のもとで管理、活用ができないのではないかという実利的側面での考えが本肥沃化技術システムの開発研究の発展を抑制していたように思われる。

本肥沃化技術システムを実状に則し、かつ可能性のある生産技術体系に導くためには、対象とする生物種、対象海域、システムの構成並びに規模およびシステムの運用並びに管理等が検討され、合わせて社会的、経済的評価等を行なうことは重要である。しかし、研究の性格が学際的内容であり、かつ要求される研究分野の先行性から考え、生産技術体系を全体的にとらえていくことは難かしい。そこで研究初期段階では、本肥沃化技術システムを生産技術体系の基本的構成要素として位置づけ、まず本肥沃化技術システムに関する基本的問題を抽出し、徐々に実用的生産技術体系に融合させていく開発的研究が、現実的には望ましいと考える。

著者らはこのような考えのもとで、深層水利用による海域の肥沃化技術システムの開発研究を進めるため、図5に示すような作業過程を設定した。

つまり、本肥沃化技術システム開発研究過程を

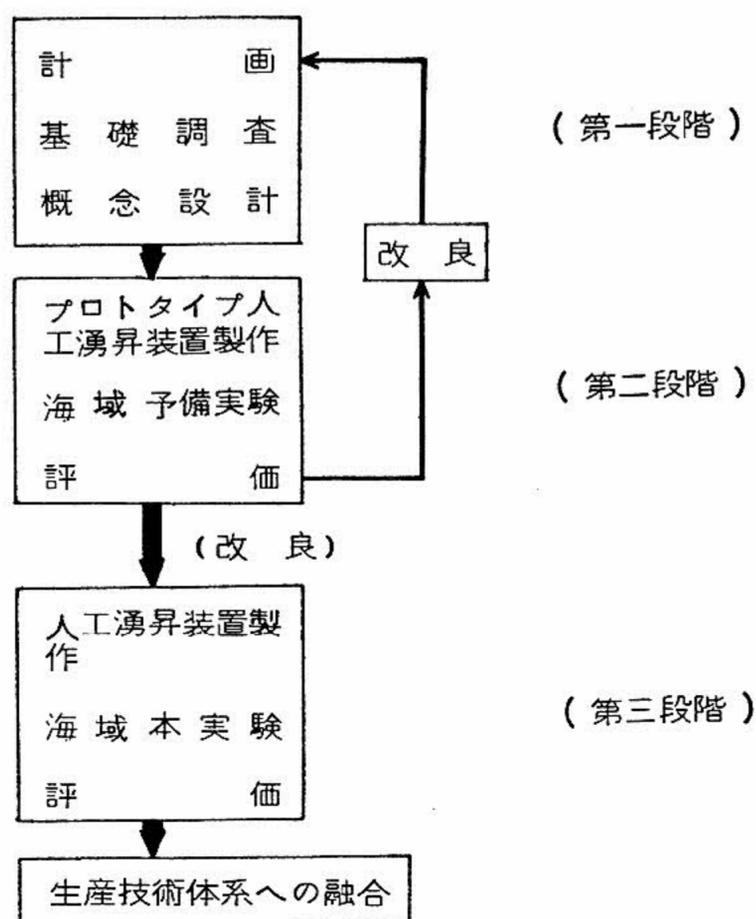


図5 深層水利用による海域肥沃化技術システムの開発研究過程

Working process of the development of sea fertility system by utilizing deep sea water

次の三段階に分けた。

第一段階は、計画 → 基礎調査 → 概念設計の作業過程、特に基礎調査に重点を置き、ここで深層水の生物、化学、物理的特性に関する情報を実験、調査およびその他の研究成果にもとづき、できる限り収集する。次に深層水を生産層に湧昇、回帰させる場合を想定し、予測される基本的問題を抽出し、その対応策を検討するとともに概念設計を行う。

第二段階は、プロトタイプ人工湧昇装置製作 → 予備的現場実験 → 評価の作業過程で、第一段階の概念設計に基づき、小規模な模擬システムにて現場海域実験を実施する。ここで、システムの有効性等を評価するとともに、第一段階で予測し得なかった諸問題点をさらに抽出し、その改善および対策を検討する。

第三段階は、人工湧昇装置 → 本海域実験 → 評価の作業過程で、第一段階および第二段階の諸問題点を踏まえ、現場海域本実験を実施する。ここでトータルシステムとしての評価を行なう。

以上のような開発研究過程を経て得られた成果は、本肥沃化技術システムを生産技術体系に応用、

もしくは融合させようとする場合、技術的、経済的および社会的評価軸の上で、具体的な問題点およびその対応策、さらにその効率性の評価等に多大な貢献をするとともに、生物資源の増大技術の一助になると考える。

また、本開発研究を進めるにあたり、いまだ、この種の研究も乏しく、基礎資料も皆無に近い現状では、第一段階での作業過程は重要であり、かなりの基礎調査研究を要する。特に肥沃化の基本的対象生物である植物プランクトンに対する深層水の生物学的特性に関する基礎的調査研究等は、重点的かつ先行して行なわれる必要がある。

ここで、室内培養実験を通じて得られた結果から、植物プランクトンに対する深層水の生物学的問題点について幾らかあげてみると、深層水に対して植物プランクトンは、水温および光の適正条件下で一般に良く成長し、増殖する（表層水に比べて4～8倍）が、必ずしも初期の増殖条件として、深層水は好適でないことが示唆された（中島ほか、1978）²⁾。また、水温および光が適正条件であっても、種類によっては成長、増殖しない場合も推定される（中島、未発表）³⁾。さらに、深層水の植物プランクトン増殖過程で、その細胞の大きさが種類によって大形化する傾向（中島、未発表）³⁾もみられる。このような生物学的特性を有する深層水を自然海域の生産層に湧昇させた場合、必ずしも円滑に海域の肥沃化が促進されないか、もしくはその海域の生態系、特に食物連鎖低次レベルでの生物等に影響を与える可能性も十分推測される。これらの問題点は、現在、検討中であり、その原因および対応策も徐々に見出し始めたが、これらの問題点およびその対応策についての知見は、深層水湧昇システム（図3、図4参照）の原理、形状および運用方法の概念設計を行う上で、また本肥沃化システムを適用できる海域（図1参照）の選定を行う上で、重要な要素となる。第一段階ではさらに生物学的側面のほか、物理学的側面および環境学的側面等、例えば湧昇した深層水の挙動、深層水を回帰する生産層の栄養および光環境の特性等の基礎研究が、室内実験、調査および理論解析を通して行なわれ、トータルシステムとしての概念を導くための基本的要素ができる限り抽出されねばならない。

このような第一段階での作業過程で得られた概念設計をもとにすることによって、本肥沃化技術システムの実質的評価を行うための第二段階およ

び第三段階の作業過程が、経済的で、かつ能率的に進められるであろう。

4. おわりに

生物資源培養に深層水を利用するアイデアを提案したのは、1967年米国のR. D. Gerardが最初であろう¹⁾。その後、1972年、米国のO. A. Roelsは実際に水深870mから深層水を陸上の水槽に汲み上げ、そこで餌料植物プランクトンを増殖させ、初めて貝類の飼育実験を行なった⁵⁾。以来、米国ではジャイアントケルプ、貝類およびサケ等を対象にした養殖に深層水を利用する技術システムの開発研究が進められている。しかし、実験的には好成果をあげているものもあるが、まだ実用化するまでには至っていない。

その理由として、米国の深層水利用による生産技術システムは、主として陸上での養殖施設、もしくはそれに準ずる小規模湾内で行なわれているものが多く、深層水人工湧昇システムへの設備投資が多額である反面、そのような養殖システムでの生産体制では経済的基盤の上で成立しないことまた水産増一養殖技術水準が低いこと、さらに水産物に対する食文化が発達していない国民性等があげられよう。例えば、Roels (1973)⁵⁾は火力発電所の冷却水として深層水を多目的に利用し、約0.5km²の養殖施設面積内で貝類の大規模養殖が行なわれれば、経済的に十分採算がとれると見積もっている。

わが国では米国と異なり、水産増一養殖技術水準も高く、また食文化が発達している国民性等から考えても、深層水を利用した海域の肥沃化技術システムを実用化レベルの生産技術体系に結びつけやすく、本肥沃化技術システムの開発研究は、わが国では有望であると言えよう。

さらに近年、わが国でも深層水の低水温を利用する海洋温度差発電に関する開発研究が進められており、多量の深層水を利用する面で共通し、深層水利用による海域肥沃化技術システムの開発研究の成果は海洋温度差発電の開発研究に伴う海洋生物環境への影響に関する基礎的知見も与えるので、このようなものと総合プラントをつくることにより、また深層水の低水温特性を発電所の冷却水等に活用することなどにより本肥沃化技術システムの経済性を高めることができ、本技術システムの開発研究をさらに実現可能なものにするであろう。

表7 深層水を利用した技術開発の経緯

History of technical developments by utilization of deep sea water.

年次 Years	海洋牧場システム Mariculture system	温度差発電システム Ocean thermal energy conversion system
1930		(仏) G. クロード, キューバ沖にて22kW 発電に成功 (水深700mの深層水利用)
1948		(仏) G. クロード, アフリカ象牙海岸に7,000 kW 発電計画
1965		(米) J. H. アンダーソン, 10万kW 発電システム提案 (水深500mの深層水利用)
1967	(米) R. G. ジェラード, 深層水利用による養殖システム提案	
1970	(米) O. A. レールズおよびR. G. ジェラード, 実施場所調査	
1972	(米) O. A. レールズ, 水深870m 深層水利用による貝類養殖実験をバージン諸島にて開始 (米) H. A. ウィルコックス, 海洋牧場プロジェクト提案	
1974	(米) H. A. ウィルコックス提案による水深300m 深層水利用の試験海洋牧場をサンクレメンテ島に建造	(日) 通産省, サンシャイン計画の一環として温度差発電計画
1976	(米) R. A. ネーブ, 水深100m 深層水利用による基礎生産増大実験開始	(日) 通産省電総研, 模擬システムにて100 W 発電に成功
1978	(台) N. K. リャン, 深層水湧昇装置発表	

表7には深層水を利用した生産技術システム(海洋牧場システム)および温度差発電システムの開発研究の経緯を参考までに示す。

文献

- Gerard R. D. and J. L. Worzel, 1967, "Condensation of Atmospheric Moisture from Tropical Maritime Air Masses as a Freshwater Resource", Science, 157, pp. 1300-1302.
- 中島敏光, 豊田孝義, 1978, "深層水における珪藻 *Skeletonema costatum* の増殖について" 1978年春季日本海洋学会講演要旨集
- 中島敏光, 1979, "深層水に対する植物プランクトンの増殖反応について" 未発表。
- 農林水産技術会議事務局資料, 1978, 「海洋牧場技術の開発に関する総合研究」について, ——中間とりまとめ報告資料——昭和53年9月。
- Roels O. A. et al, 1973, "Mariculture in an Artificial Upwelling System", Offshore Technol. Conf. pp. 1391-1395+ Figs.
- Ryther, J. H., 1969, "Photosynthesis and Fish Production in the Sea", Science, 166, pp. 72-76.
- 水産庁資料, 1977, 漁業の動向に関する年次報告, 昭和52年度。
- 水産庁資料, 1978, 水産統計指標 (昭和51年~52年), No. 7.