論 説

水産情報とGIS

為石 日出生*

Fisheries Information and GIS

Hideo TAMEISHI*

Abstract: Forecasting fishing ground is the most important for planned fishing operation. GIS is one of the most powerful tools for the purpose, but has not been applied so much. It is essential for the forecasting to treat multidimensional information of fisheries, such as condition of resources, environment of fishing ground, effect of economy, and others. The forecasting based on GIS always includes other manifold factors: for examples, a fishing ground occurs under a complicated influence between biological factors and physical and chemical environment of sea.

Key words: Forecast of fishing ground, Fisheries information, Oceanographic characteristic, Fish way, Warm streamer

1. はじめに（漁場予測のGIS）

水産情報のGISは、漁場を予測するためのGISと言っても過言ではない。なぜなら、漁場予測は、資源の状態・漁場海洋環境・経済性を加味した総合的な水産情報により可能となるからである。また、資源管理するためにも、漁場予測による計画的な操業が最も重要な要因と考えられることも大きな理由である。さらに、漁場予測のGISとしての要素は、魚類という生物要因や海という物理化学環境要因が複雑に影響しているため、きわめて多岐にわたるものである。ここで、その要因を説明する前に、一般的に漁場予測に関して魚の生態がどのようなものであるか、最小限の知見を説明する。

日本近海は、黒潮と親潮がぶつかり合う前線漁場の一つで、渦や潮境がよく発達し魚群が集まりやすい条件を作っている。黒潮系や親潮系の暖寒両魚種が集まるため漁獲量が多く、この海域での生産量は、全世界の15%を占める世界の四大漁場の一つである。

黒潮はフィリピンや台湾沖からカツオやキハダ、カジキ等のマグロ類などを日本近海へ運んでくる。また、日本近海の表層性回遊魚であるアジ、サバ、イワシ、スルメイカ、サンマ、ブリなどは、産卵に必要な温度を有している黒潮水域へ、秋から冬にかけて南下し、海藻や流れ物に産卵する。黒潮水域は、魚の“産卵場”といえる。しかし、黒潮は親潮に比べ餌となるプランクトン類は少なく、成長期

に入る稚魚や幼魚、また産卵後の親魚は、春から夏にかけて餌を求めて北上（索餌北上群）、親潮に出会う。親潮は、一般的にいえばプランクトンが豊富で黒潮の3～5倍（1 m³当たりの葉緑素量は、黒潮の0.1～0.3mg、親潮0.5～0.7 mg）もある。夏に北の海で餌を食べ、成長して肥った魚は秋から冬にかけて産卵のために黒潮水域へ南下する。

漁場とは、このような北上あるいは南下過程で、魚群が多く集中し滞っている場所であって、暖水渦と冷水渦が接している潮境部分に形成される。その間の回遊経路が暖水ストリーマ（帯状の暖水）や冷水ストリーマ（帯状の冷水）である。さらに、この潮境部分を拡大してみると、小規模の時計まわりの暖かい渦と、反時計まわりの冷たい渦が多く形成されている。これら小規模渦は、植物プランクトンが光合成を行うために必要な栄養塩や温度を供給しており、魚が集まるための餌条件を形成するための原動力となっている。すなわち、プランクトンの少ない黒潮水域で冷水渦が形成されれば、餌が豊富となる。このため、冷水渦の周辺部は、暖水性の魚（カツオ、キハダ等）にとって適温である黒潮の中にいながら、豊富な餌が得られる場所であり良い漁場となる。あたかも、砂漠の中の“オアシス”のように、餌を求めて魚群が集まるのである。これらの生態を利用して漁場を予測するのであるが、ここで漁場予測GISを具体的に述べてみよう。

1997年1月21日受付, 1997年4月11日受理

日本情報地質学会シンポジウム'96「地球情報とGIS」(東京)にて一部講演

* 漁業情報サービスセンター Japan Fisheries Information Service Center, 2-9-7 Ikenohata, Taito, Tokyo 110, Japan.

2. 漁場と海洋特性

冷たい親潮水域にある暖水渦は、暖水性の魚にとって冷たい海域で生活するための「寄りどころ」である。また、その周辺部には餌も豊富で、暖水渦は親潮水域へ魚群を運ぶ「運搬船」の役割をしているといえる。したがって、寒流系の中の暖水渦の周辺も冷水渦と同様によい漁場となりやすい。以上のことを第1図の模式図で簡単に示す。人工衛星から総観的にこのような渦を発見することは、漁場を発見することにつながると考えられる。したがって、渦・ストリーマ・潮境等の海洋特性と実際に形成されている漁場との関連が多く解明されることが、漁場予測にとって重要である。その一例として、日本周辺の暖水渦とカツオ・クロマグロ・スルメイカ漁場の関係を示す。第2図は、1986年6月12日の日本周辺の衛星画像をもとに模式化した漁海況図である。カツオ・マグロ・スルメイカ漁場ともに暖水渦の中に形成されていることが分かる。特に、マグロ漁場は、金華山沖暖水渦の中に形成され、この渦は周囲が冷水で囲まれているため、マグロはこの中に滞留し、暖水渦が「天然の大型定置網」の役割をしていると考えられる。

3. 魚道と暖水ストリーマ

人が入り込まない山の中で獣のみが通り、自然にできた道をよく獣道と言う。海にも魚が通る魚道は存在するのであろうか。おそらくこれは、帯状に細長く、しかも餌も豊富で、まさに魚にとっては、新しい生活の場所へ移動するための「シルクロード」に匹敵するのであろう。海の中にこのような道があることをだれも見ただけではないと思う。この道は、おそらくある条件の時に発生し、他の海洋現象に比べ、微細で変動が大きく、短命であると考えられる。なぜなら、従来の船舶による調査では全く観測されなかったからである。もちろん、この魚道の発見は、漁場を予測

第1図 日本近海の海流と魚群の関係を示す模式的立体図 (平野・為石, 1996)

する上にも、また成魚や稚魚が生き残るための良い環境条件に到達できるか否かにおいて、資源の面からも重要であろう。

衛星による水温分布図にマイワシ漁場をプロットしたときのことである。絶えずつきまとう今までに見たことのないような微細な水温パターンが目についた。これはいったい何だろう。第3図は、1987年、1988年、1990年の三陸初漁期のマイワシ漁場をNOAA衛星画像から解析した水温分布にプロットした図である。1989年の図が抜けているのは、この年のみ初漁期に雲が多く、画像が解析できなかったためである。この図から、3年とも初期漁場の沖合に細い帯状の暖水（帯状暖水）が接近していることが分かる。この帯状のものと漁場との間に何か関係があるかもしれない。また、第4図は1987年5月21日～6月1日まで、衛星画像から判断された帯状暖水が、鮫角沖東南東60海里沖合に接近している状態を示している。第5図に示すとおり、この南側の三陸沿岸から漁場が徐々に北上している気配もなく、5月21日～27日は目立った漁獲もみられていない。しかし、28日から漁獲が一晩一カ統当たり（以下CPUE=Catch/Unit Effort）約50 t 急激に好転し、29日にはこのとき最高のCPUE約120 t の漁獲がみられた。これは、29日に帯状暖水が接近しており、その先端部に本格的な漁場が形成されたためであると考えられる。同様に、第6図

第2図 衛星情報を利用して作成した海況図 (1986. 6. 12) (為石, 1986: 提供=漁業情報サービスセンター)

この図から、水温情報、黒潮・親潮や暖水渦・冷水渦などの動的な水塊状況の実態を表す海洋情報が得られ、将来的には、リアルタイムで、漁場予測の可能性がでてくるであろう。

黒潮水域は23～25°Cを示し、カツオ漁場となっている。また、金華山沖には黒潮から分離した大型の暖水塊があって、周辺部に冷水があるため、暖水塊が天然のマグロの定置網の役目を果たし好漁場となっている。

は1989年6月12日～14日までの带状暖水が接近している様子を示したものである。八戸沖の漁場は、13日ごろから带状暖水が金華山沖暖水塊から伸び、14日には11℃台としてその形状を明確にしている。この時期、八戸沖で本格的な漁場が形成されたのは、13日と14日のみである。また、綾里埼沖の漁場では、12℃台の带状暖水が、12～14日にかけて綾里埼沖に接近した。マイワシ漁場も綾里埼沿岸に形成され、11～16日までの1日平均CPUE約60 tの好漁獲がみられた。

このような例は、他に多くみられており、带状暖水の存在およびその沖合からの接近がマイワシ魚群の沿岸への来遊に大きく影響している模様である。これは、大きな発見である。魚群の来遊と海況要因との関係を明確に示した論文は、過去非常に少ないので、漁場環境学の大きな発展につながるものと確信している。また、この带状暖水は暖水（ウォーム）ストリーマとも呼ばれ、衛星画像が解析されるようになって初めて、発見された現象である。さらに、

これは新しい暖水渦の発生、暖水渦から暖水渦へ熱を補給する役割を持っていると考えられる。このため、海洋物理学的にも非常に興味深い現象とされている。

海況の微細かつ短期的な変動と沖合魚群との関係を解明するためには、航空機の調査が極めて適している。過去の航空機観測資料を検討してみたところ、1982～91年の5～7月の10年間に東北海域での調査は合計23回行っていた。本調査では、調査員が熟練の同一の人物であり、調査期間は5～6月のマイワシの北上期で、時刻も10～14時頃に限定し、晴天日で風の弱いときのみ実施したことから、発見率の変動は小さいとみなされる。IRT（熱赤外放射温度計）による水温分布図を描いてみたところ、暖水ストリーマが意外に多く観測されていることが分かった（第7図）。第8図は、暖水ストリーマの模式図である。暖水ストリーマ内外の魚群の出現頻度分布状態を検討してみたところ、暖水ストリーマとその周辺に魚群が全部で566群も発見できたのは驚きであった。暖水ストリーマを、先端部、中間

第3図 三陸初漁期マイワシ漁場と暖水ストリーマとの関係（左から1987年、1988年、1990年）

第4図 暖水渦から派生する暖水ストリーマが津軽暖流域へ取り込まれる状態を示した模式図（本澤他，1988）

第5図 暖水ストリーマの接近とマイワシ漁場の形成および漁獲量との関係 (1987年5月21日～6月1日)

第6図 暖水ストリーマの接近とマイワシ漁場の形成および漁獲量との関係 (1989年6月12日～14日)

部・根元部の内側・外側（外側の範囲は暖水ストリーマの周辺部で、せいぜいストリーマ幅の3分の1程度の距離内）に分けた。その結果、暖水ストリーマ周辺の暖水側（ストリーマの内側）と冷水側（ストリーマの外側）の発見数を比較すると、暖水側91%（516群）、冷水側9%（50群）と暖水側に多く分布している。また、先端部・中間部・根元部での魚群密度を比較すると、先端部では全体の63%（3.16群/区画）で最も多く、ついで中間部の26%（1.27群/区画）、根元部の11%（0.57群/区画）である。先端部の出現率が最も高く、中間部の約3倍、根元部の約6倍も分布していることが分かった。とにかく、暖水ストリーマの中は、マイワシ群が多いことが明確に示された。

以上のことから、魚群が回遊するためには暖水ストリーマが魚道の役割を果たしている可能性が強くなってきた

第8図 暖水ストリーマ（網目印）。3つの部分に分けて、航空機から発見されたマイワシ群数（括弧内は%）、出現率（発見魚群数/観測区画：図の下括弧つき割り算）。

（第9図）。このように、暖水ストリーマの図（第10図）は、沿岸の漁場予測に有力な手段となることがわかった。

4. 漁場と水温図

人工衛星から、1尾1尾の魚群をみることは、現在のセンサ技術から無理である。しかし、魚群が生息している環境を捉えることは十分に可能である。魚を取りまく環境は、水温・塩分・密度・水色・水面の高さによる海流などGISとしての要因が多くある。この中で衛星リモートセンシングで、実用的な段階に入っているのは水温である。水温と魚群との関わりは、魚が変温動物であり、住んでいる水の温度によって体温も変動し、その生理活動に影響を与えることから、最も基本的なものとして重要である。また、水温の高低は、魚の来遊や産卵期、産卵場にも影響する。例えば、マイワシ資源は、黒潮と沿岸水との微妙な変動によって、魚の餌となるプランクトンにも影響し、わずか9000tが400万tにも増大した例がある。このように産卵場の水温は、資源にも影響を与えている。漁場形成に関しても、第一に「適水温」という考え方で、魚は魚種により時期により、定まった水温範囲で生活している。漁業者の話に必ず漁獲した時の水温を入れるのはこのためである。第二に日本近海においては、魚の回遊に直接関係のある暖流・寒流の離接岸、魚が集まって漁場となる潮境、暖冷水の渦、冷水の湧昇、暖水（冷水）ストリーマなどは、水温分布をみれば判断できるのである。このように、適水温により魚の分布が判断でき、海洋特性により集群や移動方向が判断できるので、水温図は重要である。

5. 漁場と水色図

水色は昔から経験の深い漁業者の間では、漁場判定の目

第9図 マイワシ群が沖合暖水渦から沿岸へ回遊するための魚道の概念図（WCR: Warm-core ring）

第10図 日本周辺海域の暖水渦から派生する暖水ストリーマの分布 (1986～1990)

安として使われていた。また、水色は潮目や水塊の判別にも役立つ。夏に日本近海では表面水温が一様に高くなり、水温差がなくなるため、水塊の判別ができなくなったとき、この判別を水色で行うことも考えられる。

海の水色は、一体何を意味するのであろうか。赤潮や濁水の分布のようにはっきり色がついている場合は別だが、海にはいろいろの色素体があって大変むずかしい問題となっている。我々が海岸に立って海を見たとき海が青く見えるといっても、天候や時刻によってかなり違うことは、いうまでもない。すなわち、海中からの光の色と、海面で反射された空の色とが混じったものを見ているのである。したがって、水色を測定する時は、この二つを分離することが大事な問題である。

水色はすべて太陽エネルギーに依存している。可視光線の中で木の葉が緑色に見えるのは、7色の太陽光のうち特に緑色の部分がよく反射されるからである。この他の6色の光と赤外線は吸収され、木の葉の熱となる。このまま持続すると、木の葉が熱を吸収し続け、熱くなるが、あまり熱くならないのは、逆に熱を放射し、バランスを保っているからである。この放射を輻射ともいい、赤外線の形で宇宙に戻る。

過去、海洋の水色(クロロフィル-aの分布)を観測した例は、米国衛星ニムバス-7号のセンサCZCSが唯一

である(JAFIC, 1991)。この画像に同日の漁場データをプロットすることにより、水色と漁場との法則性を見つけ出すことが必要である。ここで、カツオとサンマ漁場の検討例を初期段階ではあるが紹介する。

① カツオ竿釣漁場(第11図)

カツオ漁場は、1980年6月5日と同年9月18日の水色画像で検討した。その結果、黒潮系の北上暖水に形成され、クロロフィル値も $0.10 \sim 0.42 \mu\text{g}/\ell$ と少ない海域にみられた。

② サンマ棒受網・アカイカ釣漁場(第12図)

1980年9月18日の画像を利用した。サンマ漁場は、親潮の先端部で、クロロフィル-aが $0.75 \sim 3.20 \mu\text{g}/\ell$ と多い海域にみられた。アカイカ漁場は、釧路沖暖水渦の中に形成され、クロロフィル-aは $0.08 \sim 0.24 \mu\text{g}/\ell$ と少ない側に相当していた。

以上の魚種以外に、クロマグロ・アカイカ・マサバ・ビンナガ等を検討し、適水色スペクトル図(第13図)を作成した。これにより、衛星による水色分布が分かれば、魚群探索に利用できる可能性ができ、水色図は漁場予測に役立つのである。

6. 漁場と適水温・適水色合成図

「適水温」という概念は、水温観測データが容易に入手

第11図 クロロフィル-aの分布とカツオ漁場との関係
カツオ釣り漁場（北上期：1980年6月5日）

- ①黒潮統流域と沿岸水との境目に形成.
- ②黒潮統流域内のクロロフィルの少ない海域に形成.
- ③ $0.24 \sim 0.42 \mu\text{g} / \ell$.

第12図 クロロフィル-aの分布とカツオ竿釣り、サンマ棒受網
およびアカイカ釣り漁場との関係

カツオ竿釣り漁場（南下期：1980年9月18日）

- ①沖合北上暖水域内（ $17 \sim 20^\circ\text{C}$ ）
- ②袋状クロロフィル-aの少ない海域：西側の漁場は水色前線で、東側の漁場は水温前線で制限されている。
- ③ $0.10 \sim 0.18 \mu\text{g} / \ell$ の範囲.

サンマ棒受網漁場

- ①親潮第1分枝内と第2分枝内の先端に形成されている。
- ②相対的にクロロフィルの多い海域に沿って形成されている。
- ③ $0.75 \sim 3.2 \mu\text{g} / \ell$ の範囲.

クロロフィル-aの濃度： 赤 $\geq 1.5 (\mu\text{g} / \ell)$

1.5 > 黄 ≥ 0.5

0.5 > 緑 ≥ 0.25

0.25 > シアン ≥ 0.15

0.15 > 青 ≥ 0.05

0.05 > マジェンタ

◎黒丸は
サンマ漁場

第14図 NIMBUS-7 CZCSによるサンマ適水温と適水色の合成画像（黒丸はサンマ漁場：1981年9月17日）

黄色の適水温（ $9 \sim 15^\circ\text{C}$ ）と緑色の適水色（ $0.75 \sim 3.20 \mu\text{g} / \ell$ ）の重なった黄緑色の海域にサンマ漁場（黒丸）が形成されている。釧路や花咲港に近い海域に漁場が見られるが、襟裳岬南方も漁場形成の可能性が大きい。適水温帯（黄色）は広く分布しており、漁場を探索するには、適水色（緑色）が必要。

◎黒丸は
カツオ漁場
◎水色画像の
適水色帯も
月別に検討

第15図 カツオの適水温と適水色の合成画像（黒丸はカツオ漁場：1981年9月17日）

カツオの適水色（青色： $0.10 \sim 0.42 \mu\text{g} / \ell$ ）は広く分布し、漁場の選定には広い海域の探索が必要となる。これに黄色の適水温（ $19 \sim 20^\circ\text{C}$ ）を重ねて表示すると、青色と黄色の重なった緑色の海域に選定できる。カツオ漁場（黒丸）はほとんどが緑色の海域に分布していることが分かる。特に暖水塊に緑色が渦状に分布し、カツオ漁場も渦状に分布していることが興味深い。

よるところが多く、今後はGIS情報として将来へつなげていかなければならない部分である。第2に、(2)漁場予測をするための船舶・衛星観測データによる海象解析GISである。これには、①水温分布図、②水色分布図（透明度分布図）、③海流分布（潮流分布）図、④フロント分布図、⑤市場情報、⑥船団間暗号情報、⑦上記(1)の蓄積データの解析図の種類が考えられる。第3に(1)と(2)にもとづく漁海況予測（予測水温分布図、漁場予測図など）である。

第4に漁場形成可能海域まで漁船を運んだ後に、魚群を探索するための探索情報GISである。これには、自船の魚群探知機器等による①位置・コース、②エコーサウンダーによるプランクトン情報、③スキミングソナーによる魚群反応情報、④鳥群レーダによる鳥群情報、⑤ADCP（Acoustic Doppler Current Profiler）による海流（潮流）図、⑥自船観測による水温・水色鉛直分布図などがある。これにより、魚群を発見し漁獲する。漁獲した時の操業結果のデータは、第1の(1)蓄積データに蓄えられ、再び同じ回路をまわり時間の経過とともに漁場予測精度が高められるのである。

文 献

漁業情報サービスセンター（1987）衛星から海と漁場をみる。漁業者のための衛星情報の見方使い方。
漁業情報サービスセンター（1991～1993）平成2～4年度サテライトデータ利用システム開発事業報告書。

漁業情報サービスセンター（1995・1996）平成6・7年度水温水色衛星データ活用システム開発事業報告書。

平野敏行・為石日出生（1996）海流・潮境・海の渦と魚群。日本列島をめぐる海、堀越増興・永田 豊・佐藤任弘・半田暢彦著、日本の自然7，岩波書店，pp.111-120。

本澤雅彦・為石日出生・本原興平・大塚一志・石野 誠（1988）衛星画像から識別した東北海域におけるウォームストリーマの挙動。 *Journal of the Tokyo University of Fisheries*, vol.75, no.2, pp.433-441。

水産電子協会（1993）平成4年度ADEOS/DTL受信装置の設計検討。宇宙開発事業団業務委託成果報告書。

為石日出生（1985）人工衛星を利用した魚群の探索。計測と制御，vol.24, no.3, pp.209-218。

為石日出生・杉本隆成（1993）東北海域におけるマイワシの北上回遊と接岸に暖水渦と暖水ストリーマの果たす役割—航空機調査から—。水産海洋研究，vol.58, no.1, pp.1-8。

為石日出生・杉本隆成（1993）暖水ストリーマと漁場形成。月刊海洋，vol.25, no.2, pp.105-111。

為石日出生（1994）衛星・航空リモートセンシングの水産への応用—宇宙から海と魚を考える—。水産振興，東京水産振興会，318p。

宇田道隆（1940）魚群集散の原理について。植物及び動物，vol.8, no.8, pp.1379-1386，vol.8, no.9, pp.1523-1532。

要 旨

水産情報とGIS

：為石 日出生

漁場予測は計画的漁業にとって最も重要である。GISはこの目的に対して最も有力な手段の1つであるが、これまではあまり利用されていない。資源の状態、漁場の環境、経済的効果など、漁業に関する多角的情報の取り扱い、漁場予測のためにはさけて通れない。GISにもとづく漁場予測は常にこれら以外の多くの要因を含んでいる。例えば、漁場は生物的要因と海の物理的・化学的環境の間の複雑な相互作用の下で形成される。

キーワード：漁場予測，水産情報，海洋特性，魚道，暖水ストリーマ