

1. 近年の調査資料からみた瀬戸内海の流況・海況について

中 田 英 昭 (東京大学海洋研究所)

はじめに

瀬戸内海において物質の輸送を支配している基本的な物理過程については、近年、種々の実験的研究を通じて理解が深まってきているが、これらを裏付ける現地の実証的な知見は必ずしも十分とはいえない。著者はこれまで、瀬戸内海における有用魚類の再生産にかかわる環境研究の一環として、卵・稚仔魚など海域の主に表層に分布する物質の輸送に重要な働きをしている、表層水の流動・分散の問題をとりあげ、その実態を知ることを目的として、漂流ハガキ、漂流板、染料等を用いた現地調査を実施してきた。図 1 は、これまでに漂流ハガキの放流を行った地点を示したものである。1 回の放流枚数は 1 地点について 200~400 枚で、現在までに総数およそ 30,000 枚に及ぶハガキの放流を行っている。ハガキの回収率は、放流の場所・時期によって異なるが、平均して 25% 程度である。

ここではまず、これらの現地調査結果にもとづく最近年の研究成果を紹介し、瀬戸内海の生物生産と流況・海況との結びつきを具体的に詰めていく上で重要と思われる問題点を幾つか指摘する。また、瀬戸内海沿岸の各府県水産試験場で実施されている定線観測(1972~1980年)の資料解析を通じて、次第に明らかになってきた瀬戸内海の海況の比較的長期にわたる変動傾向についてその概要を述べ、シンポジウムの討議の素材にしたい。

1. 備讃瀬戸中央部を境にした流況の相違

漂流ハガキによる流動調査の結果によれば、瀬戸内海の表層水は備讃瀬戸中央部を境にして東西二方向に分かれて移動する傾向を示している (NAKATA and HIRANO

1978, 中田・平野 1978a)。備讃瀬戸から西方に向かう表層水の平均移動速度は、冬季の調査では 0.4~0.8 cm/s、夏季には 3~5 cm/s と多くの魚類の卵稚仔の出現する時期に大きな値を示している。

表層水が二方向に分かれる備讃瀬戸中央部から播磨灘西部は瀬戸内海において年間を通じて塩分が低く(図6)、海水密度の最も小さい水域にあっていることから、このような流動構造は恐らく密度流と密接に関連するものと考えられる。瀬戸内海の中底層水の流動については、まだ調査資料が乏しく、その実態を詳細に検討することはできないが、底層クラゲを用いた調査によって紀淡海峡では、表層で紀伊水道側に流出、底層では逆に大阪湾に流入するような二層構造が明らかにみとめられている (NAKATA and HIRANO 1978)。また、1971年9月に備讃瀬戸から豊後水道にかけて6地点で実施された鉛直測流の結果、豊後水道から備後灘北部の測点までは下層(水深9m以上)に豊後水道から流入する外海水の影響が及び、恒流のベクトルの方向が上層とは逆に東向きを示したことが報告されている(産業公害防止協会1973)。今後、瀬戸内海規模の物質輸送のモデルを考える上で、これらの事実はきわめて興味深い。

2. 多島水域における分散と集積

備後灘・燧灘の西端に位置し、これらと安芸灘とを結んでいる芸予多島水域(芸予海峡)周辺においては、漂流ハガキの移動速度や分散の大きさが減少するなど表層水の流動に大きな変化がみられた(中田・平野 1978b)。このことは、東方の灘水域から輸送されてくる卵・稚仔等の漂流物がこの水域において停滞・滞留する一面のあることを示唆している。一方、この水域においては、複雑な海岸地形の影響を受けて地形的な粘性の効果が瀬戸内海の他の水域に比べきわめて大きく、物質を集積する機能が強いことが指摘されている(中田・平野 1978c)。

瀬戸・海峡周辺における物質の分布は、湧きあがりや地域的な流動変化に伴う収束・発散によって大きく支配されており(中田・平野 1978d)、その様相はきわめて複雑である。今後、これらの構造の詳細をさらに明らかにすると共に、多島水域周辺の卵・稚仔等の生物分布について空間的にきめの細かい分析を進めていく必要があ

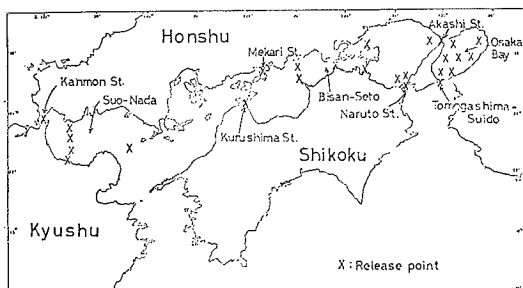


図 1 漂流ハガキ放流地点 (1976~1979年)

る。

3. 風による表層水の流況変化

瀬戸内海における灘・湾規模の表層水の流動は、風の状況によって大きく左右されている。とくに、季節による

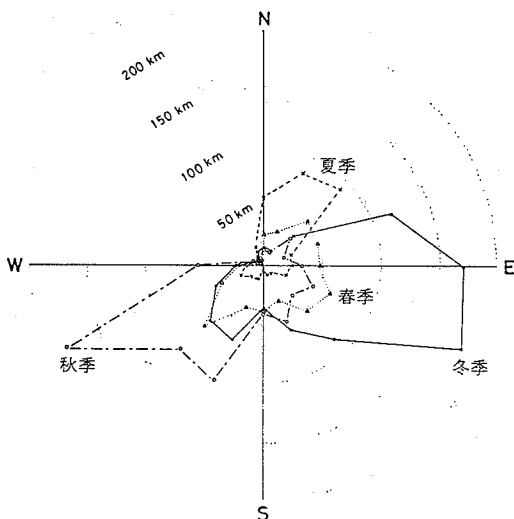


図2 吹送流による移動状況(風向別に積算した移動距離)の季節変化(風速の2%を吹送流の速度とした場合)

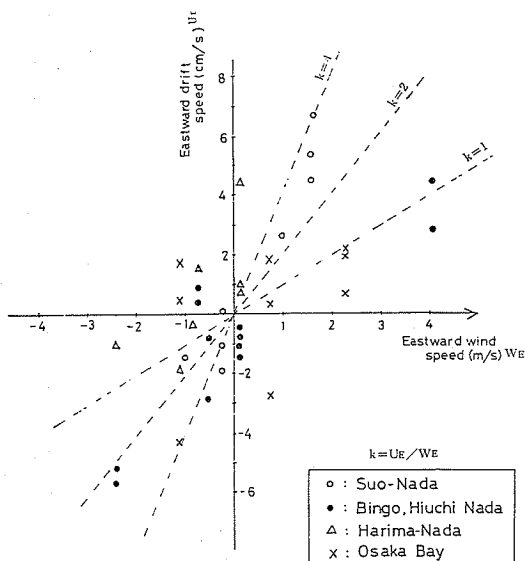


図3 漂流ハガキの平均移動速度(U_E cm/sec)と放流後の平均風速(W_E m/sec)の関係(いずれも放流後10日間の平均値)
風のデータは鳴門海峡(海拔110m)の観測結果を海上10mの値に換算したものをを用いた

卓越風の著しい変化(図2に大阪湾の例を示す)は、海域の地形特性等に応じて流況に大きな変化をもたらしている。

図3は、これまで瀬戸内海において実施した漂流ハガキ調査資料を用いて、放流して5~15日後に回収されたハガキの平均移動速度(東西成分, U_E cm/s)を各放流地点、放流時ごとに求め、これとその時の風の状況(鳴門海峡の海上10mにおける、放流後10日間の平均風速の東西成分, W_E m/s)との関係をハガキが主に漂流した海域(周防灘, 備後灘・燧灘, 播磨灘, 大阪湾)別に図示したものである。各海域ごとに移動速度と風速の関係を一次回帰し(傾き k は U_E と W_E の比すなわち風速係数を意味する), 両者の相関係数(r)を求めてみると、周防灘, 播磨灘など一般に停滞性の強い水域においては、相関はきわめて高く(それぞれ $r=0.93, 0.87$), 風速係数も大きい(それぞれ $k=2.5, 1.4$)。このことは、これらの水域における表層水の流況が風によって著しく左右されていることを示している。また、備後灘・燧灘($r=0.68, k=1.2$)あるいは大阪湾($r=0.41, k=0.65$)においても、移動速度と風速の間には対応関係がみとめられるが、周防灘, 播磨灘に比べて弱い。

このような風による流況変化は、水温・塩分分布など湾・灘内の海況にも大きな影響を及ぼしている。図4は

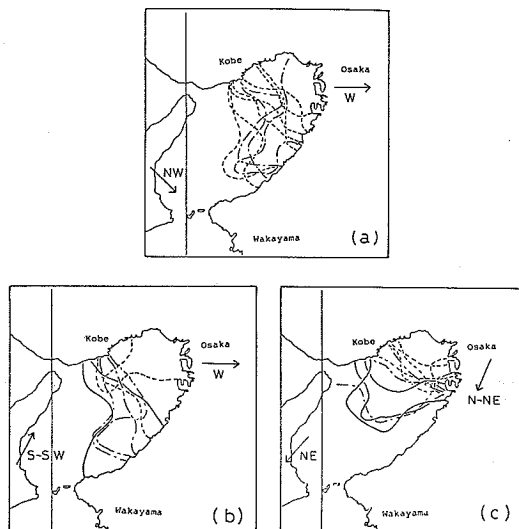


図4 風による表層塩分31‰等値線の分布状況の変化
..... $\bar{V}=100\sim150\text{ m}^3/\text{sec}$
- - - $\bar{V}=150\sim200$
—— $\bar{V}=200\sim250$
 \bar{V} : 淀川の平均流量(観測前1週間の平均)

一例として、大阪湾内の表層塩分 31‰ 等値線の分布(大阪府水産試験場の浅海定線調査資料, 1975~1978年, をもとに作成)を, 調査前一週間の大阪と洲本における卓越風向の類型別に示したものである。湾奥からの低塩分水の広がり風向の状況に応じて大きく変化していることがわかる。すなわち, 湾全体に西~北西風の卓越している場合(図4a, 主に冬季)には, 低塩分域は湾奥から湾の南岸沿いに伸び出す傾向が強く, 湾の北部では逆に湾奥に押し込められる状況を示し, 河川流量が増大しても低塩分域の分布には大きな違いがみられない。これに対して, 南~南西風の卓越時(図4b, 主に夏季)や北~北東風の卓越時(図4c)には, 低塩分水の分布は図4aの場合に比べて北偏する傾向が強く, 河川流量の増大とともに湾の西方に分布域がはり出している。

図5はまた, 1979年1月13日(A), 2月6日(B), 3月6日(C), 4月6日(D)に, 瀬戸内海東部におけるイカナゴの主な産卵場の一つである鹿ノ瀬(明石海峡西方, 図中に×印で示す)で放流した漂流ハガキの漂着状況(放流後15日以内に回収されたもの)を示したものである。図の右下方には各放流時期の風の状況(放流後10日間の鳴門における平均風速)をベクトルで示した。強い北西風が卓越した時期(A)には, ハガキはすべて大阪湾に運び去られているが, 北風(B)ないし北東風(C)の卓越時には, 播磨灘を淡路島沿いに南下する傾向が強まることわかる。また, 風が全体に弱まった時期(D)には, ハガキ群の分散は小さく放流点付近にとどまる傾向が強い。これらの事実, 産卵時期(12月中旬~1月下旬)の卓越風の状況が, イカナゴ稚仔の移動方向やその分散の度合を大きく左右していることを示しており, 産卵盛期

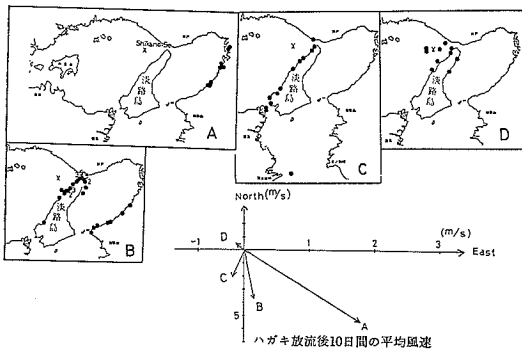


図5. イカナゴ産卵場(鹿ノ瀬)において放流したハガキの漂着状況(放流後15日以内に回収されたもの)
 A: 1979年1月13日放流, B: 1979年2月6日放流
 C: " 3月6日 " D: " 4月6日 "

後の季節風の強弱がイカナゴ発生量の変動と密接に関連するとの浜田(1966)の主張を裏付けている,

風による各水域の海況・水質・生物分布などの変化の実態については, 現在のところまだ調査資料が十分とはいえない。今後, 水温・塩分・流速等の連続測定, 時間的に密な生物採集などを組み合わせながら, その実態を定量的に吟味していく必要がある。

4. 瀬戸内海における海況の推移

図6は, 瀬戸内海沿岸の各府県水産試験場の定線観測資料をもとに, 瀬戸内海の縦断面(地点図を図7に示す)における10m層の塩分の経年変化(1972~1978年)を示したものである。瀬戸内海の塩分は季節的に大きく変化しており, その変動幅は内海中央部できわめて大きい。また, 陰影を付した33‰以上の領域の動きをみると,

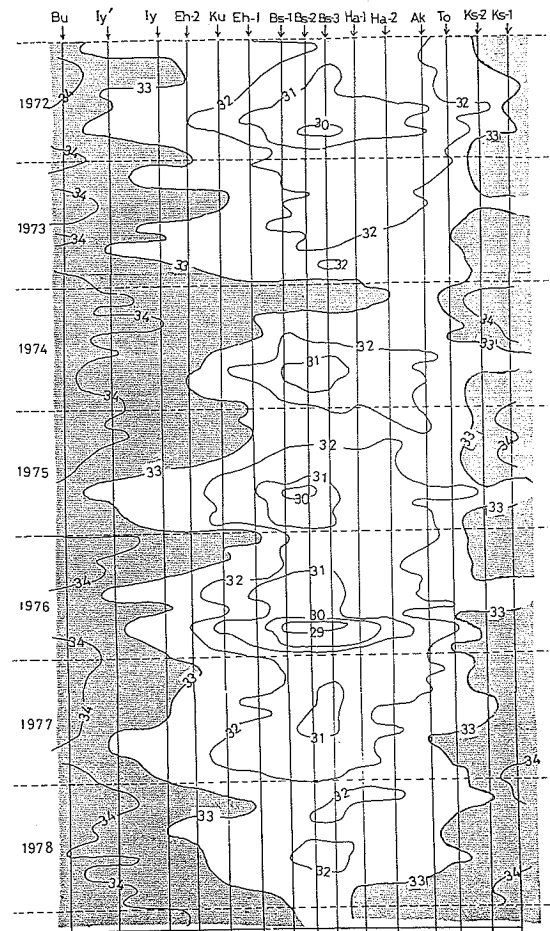


図6 瀬戸内海の縦断面における10m層の塩分の経年的な推移(1972~1978年)陰影を付けた領域は33‰以上を意味している

経年的にも変化がみられ、1973~1974年、1977~1978年には内海のほぼ全域が高塩分化している。

このような海況変化をもたらす要因としては、降水量・風など気象条件の変化、外海域の海況変動の影響を考慮する必要があるが、多くの場合、これら複数の変動要因が重なり合って海況変化に関与しているため、その実態はこれまでほとんど明確にされていない。

ここでは、瀬戸内海における水温・塩分（いずれも10 m 層）および透明度の最近年の推移に関する解析結果を示す。図8~図10はそれぞれ、各府県水産試験場の毎月の定線観測結果（1972~1981年）から求めた各海況要素の12カ月移動平均値の変化を図示したものである（水温、塩分の場合には、下段に友ヶ島水道60 m 層、紀伊水道75 m 層における変化を参考のため加えた）。解析に

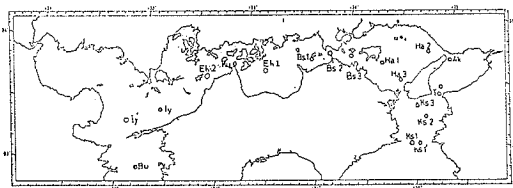


図7 海況の経年的な推移に関する解析に用いた観測地点

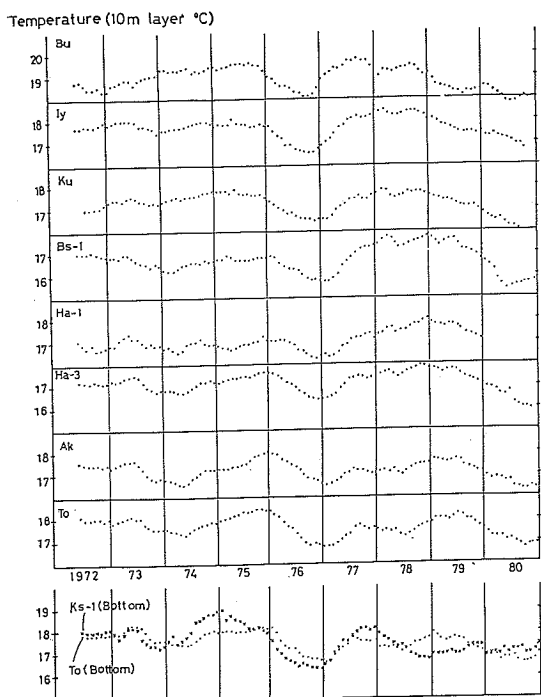


図8 10 m 層水温の経年的な推移 (12カ月移動平均値)

用いた地点は図7にまとめて示してある。

以下、各項目ごとに推移の概況を述べる。

1) 水温 (図8)

1974年の寒波、1976年の梅雨寒む、1979~'80年の冷夏など気温の変化 (図11aに神戸、広島 の月平均気温の12カ月移動平均値を示す) に基本的によく対応した変化を示している。1973~'74年の水温低下、1974~'75年の水温上昇は内海東部で顕著である。紀伊水道底層では1974~'76年に大きな水温変化がみられるが、その傾向は気温の変化と必ずしも一致していない。

2) 塩分 (図9)

基本的な変動傾向は内海全域でほぼ一致しているが、変動幅は内海中央部で最も大きい。1973年、1977~'78年の塩分増加は、図11bに示した降水量 (大阪の月降水量の12カ月移動平均値) の減少傾向とよく対応している。1976年9月には瀬戸内海一帯に大雨による塩分低下が記録されており、その影響は内海東部一帯に顕著にあらわれている。今後、このような短期変化の影響を細かく仕分けしながら、降水量の増減に伴う塩分変化の機構について解析を進める必要がある。

3) 透明度 (図10)

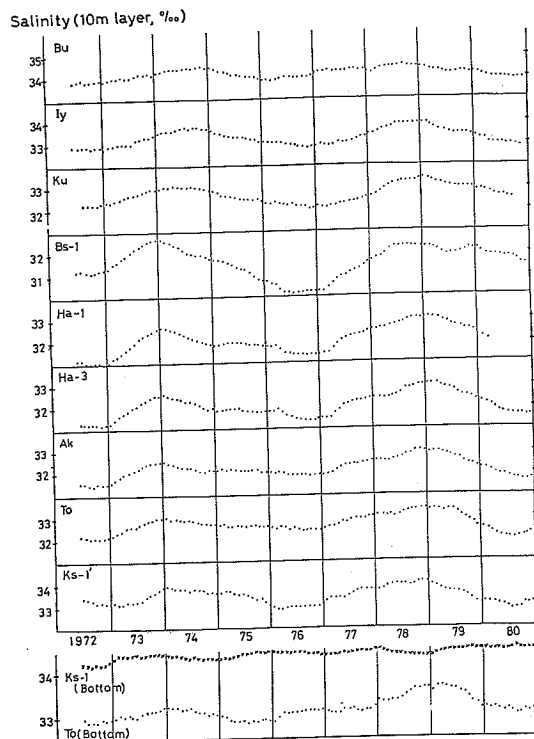


図9 10 m 層塩分の経年的な推移 (12カ月移動平均値)

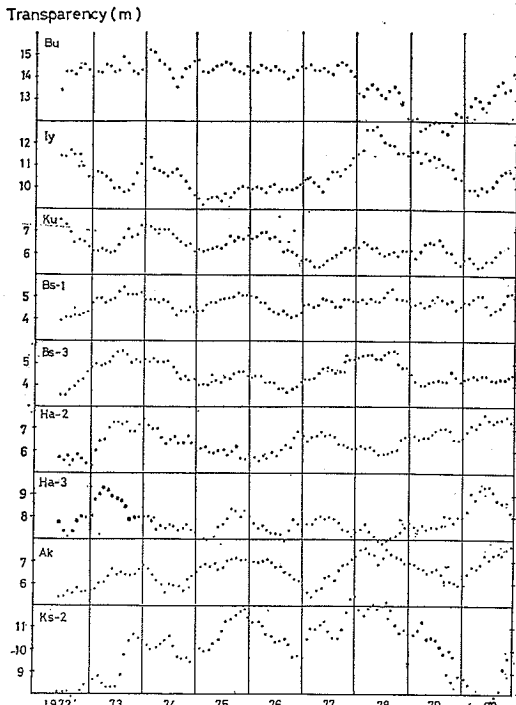


図 10 透明度の経年的な推移 (12カ月移動平均値)

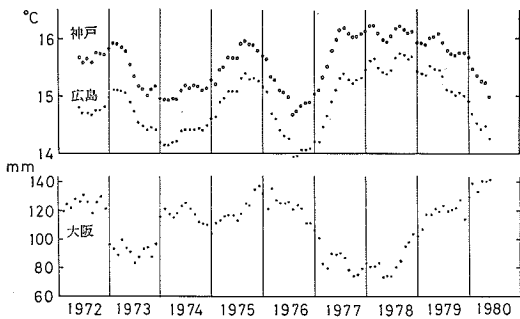


図 11 気象条件の経年的な推移

- a. 月平均気温の12カ月移動平均値(神戸, 広島)
- b. 月降水量の12カ月移動平均値(大阪)

内海内部では変動幅が小さく、その変化は降水量の変化に比較的良好に対応している(降水量の多い年には透明度は低い)のに対して、外海に近い水域では変動が大きく、目立ったトレンドが幾つかみられる。例えば、豊後水道(Bu)では1978~'79年に著しく低下、紀伊水道

(Ks-2)では1972~'78年に上昇、1979~'80年には著しく低下している。内海内部でも長期的には一定の傾向を示す水域があり、明石海峡(Ak)では次第に上昇、来島海峡(Ku)では逆に低下する傾向がみられる。

以上に示したような海況の変化は瀬戸内海の水質、プランクトン・卵稚仔の出現状況などにも何らかの変化をもたらしているものと考えられる。今後、これらについても資料を収集し、さらに検討を進めていく必要がある。

おわりに

瀬戸内海の流況・海況は、ここでも一部指摘したように、きわめて変動性に富んでおり、従来から行われているルーチン観測だけでその実態を把握することは容易でない。今後は、係留ブイや定期船などを利用した連続的なモニター、リモートセンシングによる広域同時測定などを積極的にとり入れていくことが必要であろう。

また、流況・海況あるいはこれらの変化が、卵・稚仔魚等の輸送や分布と具体的にどのように結び付いているのか、現在までに得られている調査資料だけでは明らかにできない部分が多い。今後、生物サイドでも採集の方法・頻度などを工夫して、両者の対応関係を定量的にとらえることができるように努力していく必要がある。

文 献

浜田尚雄(1966): 播磨灘、大阪湾におけるイカナゴ発生量変動に関する研究—Ⅲ 産卵期前後の海気象との関係, 日本水産学会誌, 32(7), 579-584.

NAKATA, H. and T. HIRANO (1978): Investigation on the transport and diffusion of sea water in the Seto Inland Sea, Proceedings of the Colloquium on Aquatic Environment in Pacific Region, Taipei, 48-63.

中田英昭・平野敏行(1978a): 漂流ハガキによる東部瀬戸内海表層水の流動調査, 水産海洋研究会報, 32, 44-48.

中田英昭・平野敏行(1978b): 瀬戸水域における物質の拡散・集積について, 沿岸海洋研究ノート, 16(1), 31-42.

中田英昭・平野敏行(1978c): 瀬戸水域における物質の拡散・集積について(要旨), 海と空, 54(1), 33-42.

中田英昭・平野敏行(1978d): 瀬戸水域における染料拡散実験, 水産海洋研究会報, 32, 1-18.

産業公害防止協会(1973): 瀬戸内海海況調査報告書, 55 pp.