

II-117

ボックスモデルを用いた日本海の流動再現と検討

日本大学生産工学研究科 学生員 ○高橋 義也 日本大学生産工学研究科 正会員 和田 明

1.はじめに 日本海は太平洋西部に位置し大陸と日本列島に囲まれた海域で、他の海洋との接点は海峡のみで閉鎖性の強い海域である。面積は全海洋の 1%にも満たないが平均水深は 1350m と比較的深い特徴を有している。この日本海の観測は 1930 年頃から実施され、近年では日本海固有水の直接観測も行われ、日本海の海洋構造は広く知られるようになった。ここでは、物質循環の観点から日本海の深層水の起源及び挙動を解明する最初の段階としてボックスモデルを用いて流動計算を行い、その流動を検討することとする。

2.基礎式 ボックスモデルは計算対象領域を多数のボックスに分割し、各ボックスに水温 T ($^{\circ}\text{C}$) と塩分 S (‰) の観測値及び気象の降水量 P (ton/s)、蒸発量 E (ton/s)、顕熱・潜熱の和 H (Mcal/s) や河川の流量 R (m^3/s) を入力して、接触ボックス間の交換流量 W (m^3/s) を求めるものである。ボックス内の水塊は一定と仮定し (1) から (3) 式の保存方程式を立てる。それぞれ、海水の質量 (ton/s)、塩分量 (ton/s)、熱量 (Mcal/s) の保存方程式である。ここで、 ρ (ton/m^3) は密度、 C (Mcal/g $^{\circ}\text{C}$) は海水の比熱を表している。この連立一次方程式は未知数と方程式の個数が一致していないため多数解になる。そこで非線形計画法を用いて (4) 式の値が最小になる未知数を求める方法で解析を行った。

$$\sum_{j \in i} W_{ji} \rho_j - \sum_{j \in i} W_{ij} \rho_i + \sum_r R_{ri} \rho_r + P_i - E_i = 0 \quad (1)$$

$$\sum_{j \in i} W_{ji} \rho_j S_j - \sum_{j \in i} W_{ij} \rho_i S_i + \sum_r R_{ri} \rho_r (S_r - S_i) = 0 \quad (2)$$

$$\sum_{j \in i} W_{ji} \rho_j T_j C - \sum_{j \in i} W_{ij} \rho_i T_i C + H_i = 0 \quad (3)$$

$$\varepsilon = \sum_i \left\{ \alpha_i [\text{Box}_i \text{の(1)式の左辺}]^2 + \beta_i [\text{Box}_i \text{の(2)式の左辺}]^2 + \gamma_i [\text{Box}_i \text{の(3)式の左辺}]^2 \right\} \quad (4)$$

3.計算条件 本研究で使用している水温と塩分及び気象データは日本海洋データセンターの海洋データオンライン提供サービスにより収集し、NOAA (1982) に準じてデータ処理を行った。全日射量については近藤 (1994) を参考に算出し、河川については国土開発調査会 (1994) を使用した。計算対象領域は Fig.1 に示す領域であり、計算領域の南端より Table.1 に示す流量を与えている。この流量は Kim (1996) が使用している年平均 $2.0 \times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$ 、振幅は $0.4 \times 10^6 \text{m}^3/\text{s}$ のサインカーブを使用している。

Table.1 入力流量

季節	流量 ($10^6 \text{m}^3/\text{s}$)
冬季	1.600300
春季	2.000000
夏季	2.399670
秋季	1.989673

鉛直方向には水塊構造を基準とし 11 層に分割している。1 月から 3 ヶ月毎に冬季、春季、夏季、秋季としている。

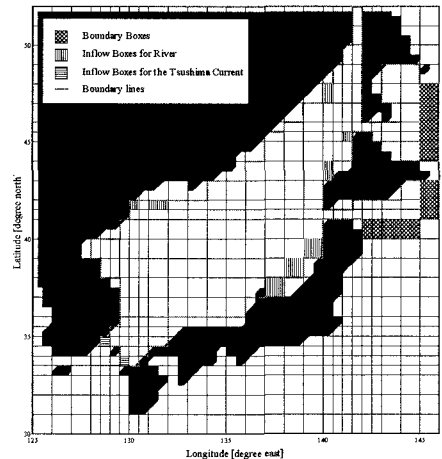


Fig.1 計算対象領域

キーワード：日本海，数値計算，ボックスモデル，流動特性

〒275-0006 千葉県習志野市泉町 1-2-1 TEL.0474(74)2420 (内線 466) FAX.0474(74)2449

4.結果及び考察 ボックスモデルにより求められた水深 30m の水平流動を Fig.2 及び Fig.3 に示し、水深 50m における鉛直流動を Fig.4 及び Fig.5 に示す。ボックスモデルにより求めた流量誤差について検討を行う。この誤差は各海峡の流入の和と流量の絶対値の和との比で表している。Table.2 に示すように誤差は 1%以下となり、求められた流量は 3 個の保存方程式を精度高く満たしていると考えられる。今後、物質循環等を考慮する場合にこれらの流動を活用することが可能であることが確認できた。

Table.2 流量誤差 (%)

	冬季	春季	夏季	秋季
誤差	0.58	0.23	0.54	0.16

次に、流動結果について考察を行う。Fig.2 より、日本列島沿岸を東向きに流れる対馬海流第 1 分枝と見られる流れが再現されている。この勢力は津軽海峡付近まで達している。ウラジオストック沿岸で循環流が発生していることが認められ、対馬海流の蛇行性が明らかとなっている。また、日本海北部より南下している流動が見られ、南部からの対馬海流系水と北緯 38 度付近で接触している。Fig.3 より、南部から流入する海水は日本海全域を北東に流れている。これは対馬海流の 3 分枝型を再現していると考えられる。この勢力は宗谷海峡付近にまで達していることが認められる。

Fig.4 より、日本海北部と大陸沿岸で鉛直混合が盛んに行われている。特に北緯 40 度より北側において下降流が顕著に現れており、日本海南部と北部で明らかに異なった流動を示していることが認められる。Fig.5 より、日本海縁で鉛直混合が行われているが、冬季と比較すると極端に小さくなっている。これは、夏季において季節躍層が形成されていることを表している。また、鉛直混合が日本海全域の陸縁で行われていることから地形的な影響が大きいと考えられる。

以上のことより、対馬海流は冬季には蛇行型であり、夏季には 3 分枝型を呈していることが確認でき、今日、一般的に言われている対馬海流の流れを再現している。また、冬季においては極前線を確認でき、夏季には対馬海流の勢力が増加し日本海表層を覆うために季節躍層を形成し極前線を確認することができなかった。これも、実際の観測に合った現象であることが確認できる。

5.おわりに 今回の研究により、日本海表層における流動は確認できた。今後、日本海の深層における鉛直混合や物質循環の観点から日本海深層水の起源及び挙動を検討していきたいと考えている。

6.参考文献 (1) Chel-Ho Kim ; A numerical experiment study on the circulation of the Japan Sea (East Sea), Kyushu University, A Dissertation submitted for the degree of Doctor of Science, 1996 (2) (有) 国土開発調査会; 河川便覧 1994, (有) 国土開発調査会, 1994 (3) 近藤純正; 水環境の気象学, 朝倉書店, 1994 (4) NOAA ; Climatological Atlas of the World Ocean, Professional Paper 13, 1982

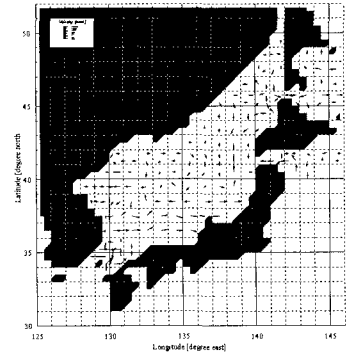


Fig.2 水深 30m における冬季水平流動

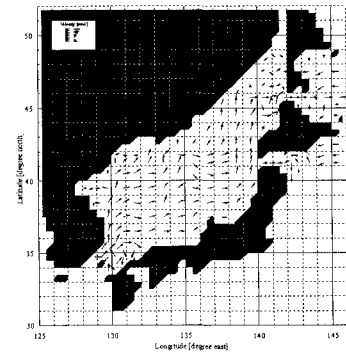


Fig.3 水深 30m における夏季水平流動

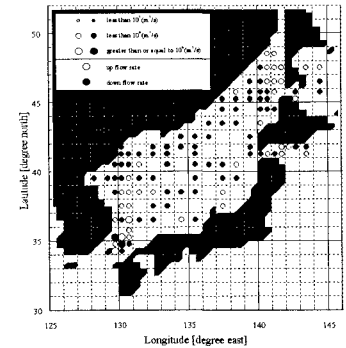


Fig.4 水深 50m における冬季鉛直流動

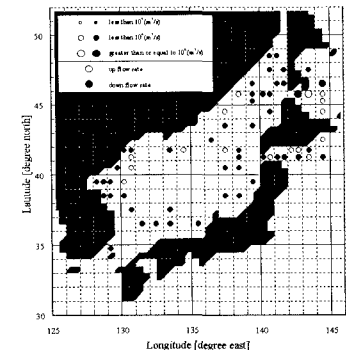


Fig.5 水深 50m における夏季鉛直流動