

渤海海峡付近の冬季における流動機構について

犬飼直之* · Liang Shuxiu** · 張 瑞瑾***
早川典生**** · 細山田得三*****

中国の渤海は半閉鎖性水域であり、湾奥部では水質悪化が問題となっている。その改善策の1つとして、現在中国では長江の年間流量の約半分の1を黄河流入させる「南水北調」計画が進行中である。これにより黄河の流量は大きく増大し、河口の渤海の環境のみならず、沿岸海域の環境に何らかの影響を及ぼすことも予想されるので、この現象を定量的・定性的に予測する必要がある。よって初期段階として、まず黄河の流況を把握するために中・下流域で調査を行った。その後、黄河の流れの影響が少ない冬季の渤海について現地観測を行い、この結果を用いて数値シミュレーションを行い、流動機構や水質などの拡散現況を把握した。

1. はじめに

中国の渤海は半閉鎖性水域であり、湾奥部では都市型水質汚染と合わせ、水質悪化が問題となっている。ところで、渤海へは中国第2の河川の黄河が流入している。近年では黄河流域や北京での河川水不足が深刻化しており、その解決策として中国南部を流れる長江の年間流量の約半分の1を黄河流入させる「南水北調」計画が現在進行中である。もしこの計画が完了すると、黄河の流量は大きく増大し、河口の渤海の環境のみならず、沿岸海域の環境に何らかの影響を及ぼすことも予想される。

この現象を定量的・定性的に予測するためには、広範囲及び長期間にわたる物質の拡散過程や流動機構の把握が可能な環境アセスメント技術が必要であり、その技術を早急に開発する必要があると考えられる。よって、上述の技術開発の初期段階として、渤海へ流入する黄河の流量が小さく黄河の影響が少ないと思われる冬季について、渤海の流動機構や水質などの拡散現況を把握することを試みた。最終的には将来の物質拡散過程の解明に資することを目的とする。

2. 研究内容

渤海は渤海海峡で黄海と海水交換を行っており、渤海海峡付近の流動機構及び水質を把握することは渤海全体の流動機構を解明する上で極めて重要である。そこで、まず、黄河の中・下流域で現地調査を行い、黄河の現況を把握した。次に、渤海海峡付近(図-1)で流れ及び水質の観測を行なった。最後に、観測結果より得られた水質データを入力条件として、冬季における渤海及び黄海北部の流れ及び拡散の数値実験を行い、冬季における渤海の海水交換過程を求めた。

3. 渤海海峡付近における流況および水質調査

渤海は、渤海海峡で黄海と海水交換を行っており、渤海海峡付近の流動機構および水質を把握することは渤海全体の流動機構を解明する上で極めて重要である。そこで、2003年12月19日より21日の3日間、渤海海峡付近(図-1)で、流れおよび水質の観測を行なった。観測範囲は渤海海峡をはさみ黄海側の大连湾から渤海側の遼東半島西側に至る東西約120 kmの距離であり、図-1および表-1に示す9地点で、水温及び海水濃度、塩分量、DO、濁度、クロロフィル、pHの7項目について観測を行った。

(1) 観測時の天候

ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts)より提供された、2003年12月10日0時から31日18時までの6時間毎の気象の客観解析データを用いて、観測期間中の天候を把握した。図-2

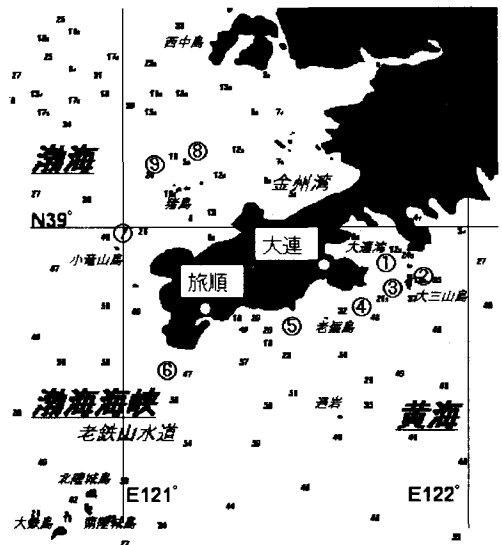


図-1 観測位置 (渤海海峡付近)
(図中の数字は観測点番号)

* 正会員 工博 長岡技術科学大学助手 工学部環境・建設系
** 工博 大連理工大学講師 土木工程系
*** 工修 長岡技術科学大学工学研究科 エネルギー・環境専攻
**** 正会員 Ph.D 長岡技術科学大学名誉教授
***** 正会員 工博 長岡技術科学大学助教授 工学部環境・建設系

表一 観測点情報

St. No	経度	緯度	観測日	水深
1	E121° 44'16"	N38° 57'12"	12/19/2003 9:50	11.0 m
2	E121° 51'0"	N38° 55'31"	12/19/2003 11:04	30.0 m
3	E121° 46'24"	N38° 53'12"	12/19/2003 12:05	37.0 m
4	E121° 40'00"	N38° 51'00"	12/19/2003 13:10	34.0 m
5	E121° 29'21"	N38° 47'30"	12/19/2003 14:05	46.0 m
6	E121° 7'7"	N38° 41'58"	12/20/2003 8:25	61.0 m
7	E121° 0'0"	N39° 0'0"	12/20/2003 10:30	29.0 m
8	E121° 11'57"	N39° 10'44"	12/20/2003 12:25	7.4 m
9	E121° 04'15"	N39° 09'54"	12/20/2003 15:23	21.0 m

に、12月20日0時の風のベクトル図を、図一3に渤海内のSt.7における気圧の時間変化、図一4にSt.2およびSt.7の2地点での風速の時間変化を示す。観測期間中は低気圧が日本海を移動中であり、海域の風速が大きく変動している。この海域の卓越風向は北東であり、常に毎秒6m前後の風が吹いているが、卓越風向に対して陸地の陰になる黄海側のSt.2よりも障害物が無い渤海内のSt.7の方が10%程度風速が大きい事がわかる。

(2) 観測結果

外海側(黄海側)のSt.5および渤海側のSt.7における観測結果のうち水温および塩分量、濁度を、図一5(1)、(2)、(3)にそれぞれ示す。図によると外海側のSt.5では水温や塩分量、濁度などは共に成層している。水温は渤海側のSt.7の方が全体的に低く、しかも低層の方が低い。また、濁度は渤海内側のSt.7が高いことが分かる。クロロフィルも同様な結果を得た。

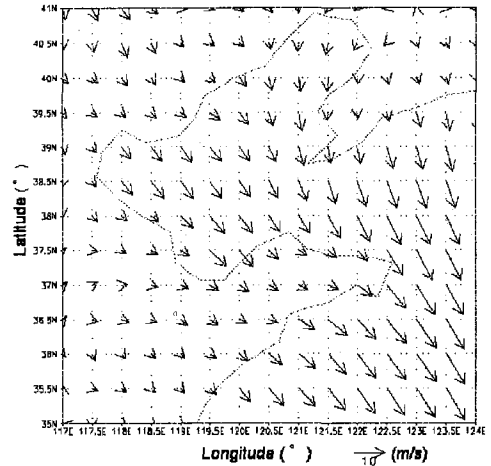
これらの結果より、冬季の渤海は、黄海よりも水温が低く、濁度が大きいことが分かった。

4. 黄河流域の現地踏査

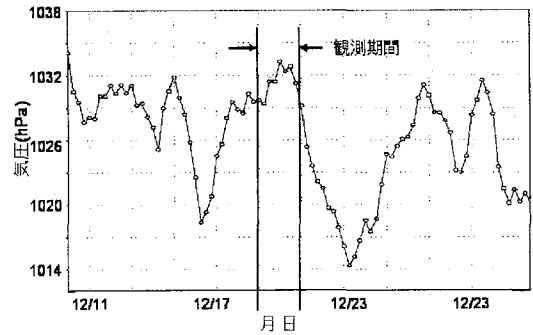
黄河の現況を把握する為に、2002年9月中旬及び12月下旬に黄河の現地調査を実施した。調査実施地点は、黄河河口より600km上流に位置する黄河下流域の河南省鄭州市および1500kmの中流域の甘肅省蘭州市、1,900kmの青海省海東地区李家峡の3地点である。調査では、底質を採取し粒度試験を行った。

(1) 概況

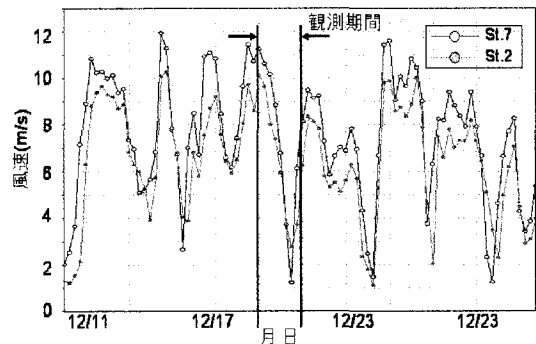
黄河の全長は3,700kmである。流域の大部分は山間



図一2 風ベクトル(地上10m, ECMWF)
(2003年12月20日0時)



図一3 気圧変化(St.7, 地表, ECMWF)
(2003年12月10日0時~12月31日18時)



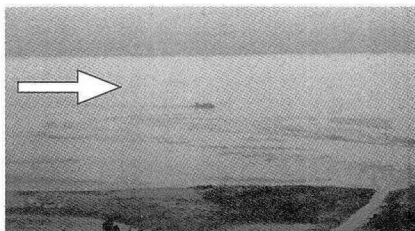
図一4 風速変化(St.2及びSt.7, 地上10m, ECMWF)
(2003年12月10日0時~12月31日18時)

部であり、全長の6分の1程度が下流域の平野部を流れる。中・下流域の底質の流径はとても小さく粘土質である。冬季は、上流部での降雪や凍結などにより流砂が減

少し、山間部では河川水は透明である。しかし、平野部では粘土質の泥水状態となっている。写真-1に山間部および平野部の黄河の流況を示す。



(1) 青海省海東地区李家峡付近 (中流域)
2002年12月26日



(2) 河南省鄭州付近 (下流域) 2002年9月11日

写真-1 黄河の流況

(2) 調査結果

各地点で採取した底質の粒度試験結果を図-6に示す。上流域でも中央粒径が0.20 mm程度と非常に細かいが、更に下流ほど小さくなり、平野部では0.015 mm程度になることが分かる。これにより、将来黄河の流量が増大すると、これらの砂の渤海への流出量が増大すると予想され、この浮遊砂の挙動も考慮する必要があると考えられる。

5. 冬季渤海の数値シミュレーション

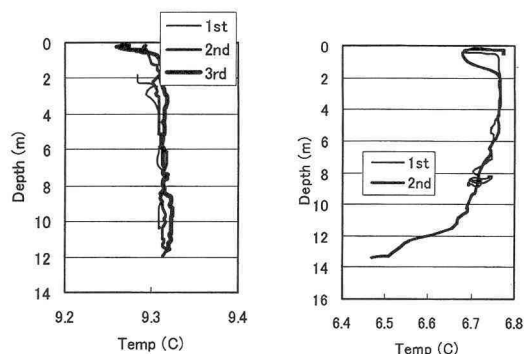
観測結果より得られた水質データを入力条件として、冬季における渤海及び黄海北部の流れ及び拡散の数値実験を行った。地形および調和定数などの変数は次のように決定した。

(1) 流れの数値モデル

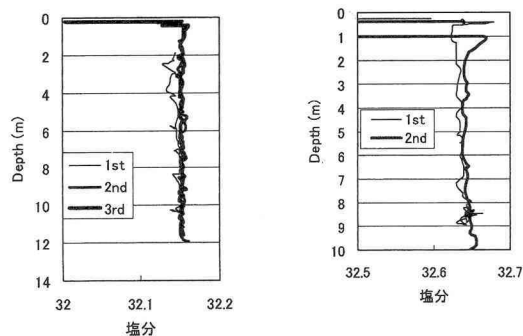
流れ及び拡散の数値モデルには、バロクリニック流れの運動方程式を全陽解的に差分化した3次元球面座標系のレベルモデルを使用した。図-7に座標系を示す。また、この海域では水位変動が大きいために、干潟などの乾出部があっても対応できるように、表層では移動境界の計算を行えるようにした。

(2) 地形

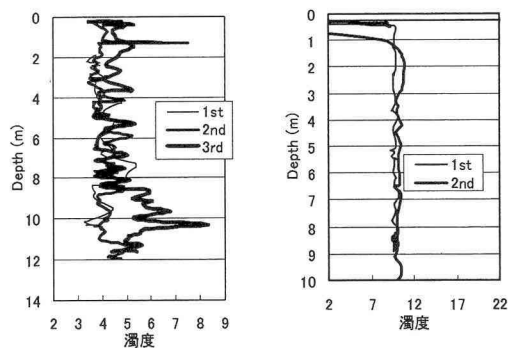
図-8に示すように、渤海および黄海全域を含む、東経



(1) 水温



(2) 塩分量 (PSU)



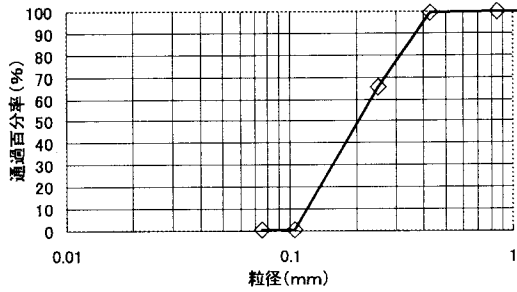
(3) 濁度 (FTU)

図-5 観測結果 (渤海海峡の内外の比較)
(左: St.5, 右: St.7)

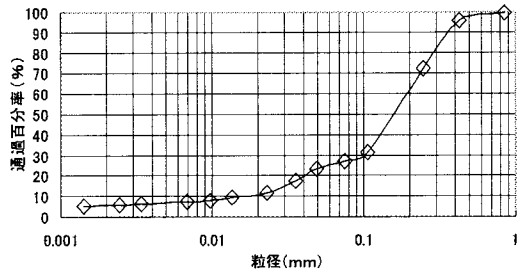
116度から128度、北緯30度から42度で囲まれる領域とした。地形情報は、NGDC(U.S. National Geophysical Data Center)から提供される5分刻みの全球情報より当該海域の情報を利用した。

(3) 流れの駆動力

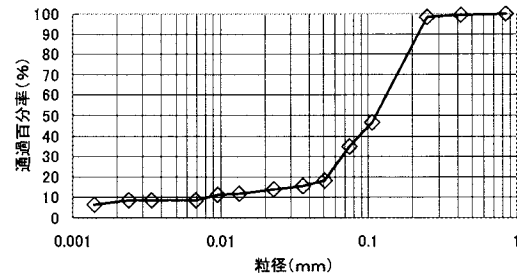
この海域では吹送流および潮汐流が卓越しているので、本研究では駆動力となる潮汐および風応力を同時に入力し数値シミュレーションを行った。用いた風応力は、



(1) 青海省海東地区李家峡付近
(2002年12月26日, 中央粒径 0.204 mm)

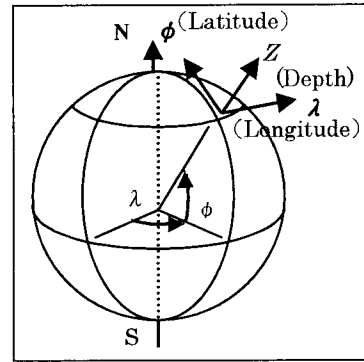


(2) 甘肃省蘭州市(2002年12月25日, 中央粒径 0.160 mm)

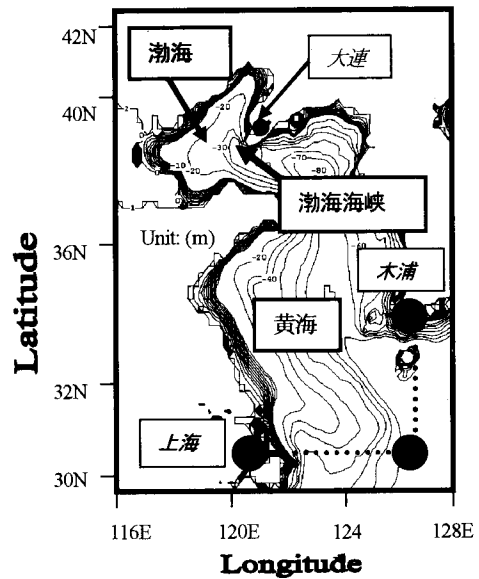


(3) 河南省鄭州市(2002年9月11日, 中央粒径 0.015 mm)

図一六 粒径分布曲線



図一七 座標系の定義



図一八 計算領域

ECMWF より提供を受けた, 2003 年 12 月 10 日 0 時から 31 日 18 時までの 6 時間毎の海上風のデータを使用した。

また, 潮汐については, 半日周潮が卓越しているので, 半日周潮の潮流流を対象とした。強制水位は, 上海及び木浦と沖側の点 (北緯 31 度, 東経 126 度) で結ぶ直線で与え (図一 8 内の破線), 3 点間の間の位相および振幅は線形に変化するように決定した。位相および振幅は, 調和定数表より決定した。

(4) 計算条件

以上よりまとめた計算条件を, 表一 2 に示す。

(5) 計算結果

計算開始後 24 時間の表層の流速分布を図一 9 に示す。また, 計算開始時に, 渤海内の濃度を 1, 湾外の濃度を 0

表一 2 計算条件

Parameters	Specification
地形データ	Etopo-5 data set U.S. National Geophysical Data Center (東経 116°-128°, 北緯 30°-42°)
格子間隔	5 分 (球面座標系)
タイムステップ	60 秒
層数	10 層
コリオリカ	$f = 2\Omega \sin \phi$, $\phi = 30-42^\circ$
風応力	$\left(\rho A_v \frac{\partial u}{\partial z}, \rho A_v \frac{\partial v}{\partial z} \right) = C_d(u_w, v_w) \sqrt{u_w^2 + v_w^2}$ $C_d = 0.001(0.75 + 0.067 W)$
海底摩擦	$(\tau_{bx}, \tau_{by}) = \rho C_d(u_b, v_b) \sqrt{u_b^2 + v_b^2}$
風データ	ECMWF, 10 m 高, $W = (u_w, v_w)$
潮汐周期	43,000 秒
強制水位	上海 (E121°29', N31°15') 振幅 118 cm, 位相 40° 木浦 (E126°23', N34°47') 振幅 153 cm, 位相 60° 東シナ海 (E126°23', N31°15') 振幅 200 cm, 位相 270°

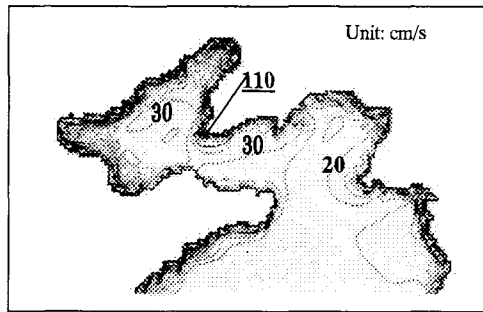


図-9 流速分布 (計算開始 24 時間後, 表層)

とした瞬間濃度放出による移流拡散計算も同時におこない, 計算終了時の濃度分布を図-10 に示す。図より, 渤海と黄海の海水交換は主に渤海海峡北部でおこなわれ, 黄海南岸沿いに流出していることが分かる。

6. ま と め

(1) 黄河の底質砂の中央粒径は, 平野部の鄭州で 0.115 mm と非常に細かい。これより将来黄河の流量が増大すると, これらの砂の渤海への流出量が増大すると予想される。よって渤海の流況予測にはこの浮遊砂の挙動も考慮する必要がある。

(2) 冬季の 1 渤海海峡付近の海水は成層している。

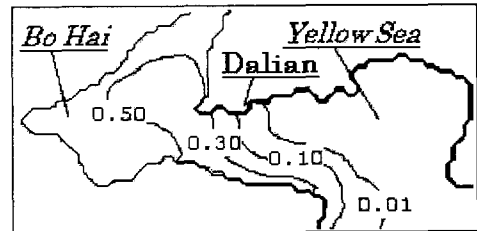


図-10 流速分布 (計算終了時, 表層)

また, 渤海側の内側で水温は低く, 更に水質が悪くなることが裏付けられた。

(3) 渤海海峡付近の最大流速は毎秒 1 m 以上となる。また, 強い季節風により, 計算開始 20 日程度で渤海内の表層水は山東半島沖まで流出する。

謝辞: この研究は科学研究費補助金若手 (A) 17402042 の補助を受けて行った。

参 考 文 献

- 犬飼直之・早川典生 (2001): 渤海の海水交換に関する研究, 第 48 回海工論文集, pp. 1046-1050.
- 仲敷憲和 (1994): 自由海表面を考慮した海洋循環モデルの開発, 電中研報告, 49 p.
- 中野猿人 (1940): 潮汐学, 生産技術センター, 528 p.