

瀬戸内海における流れ場と水位の長期的な変動特性の把握

広島大学 大学院工学研究科 学生会員 ○池原貴一, 金キョンヘ
広島大学 大学院工学研究科 正会員 日比野忠史, 駒井克昭

1. 序論

わが国大都市沿岸の閉鎖性水域は慢性的な赤潮などの沿岸環境問題をかかえており、全国各地で海の再生を目指した取り組みが関係省庁と自治体の連携の下で進められている。瀬戸内海において沿岸環境を考える上で通過流量などの水理現象の経年変動を明らかにすることは長期的かつ広域的な視点から見て非常に重要であるが、内海部での流れの力学的メカニズムは内湾起源の現象に加え、外洋起源の現象も考慮しなければならない。内湾起源の現象としては、内海の密度場による密度流、河川淡水の流入、海面気圧分布、複雑な地形が生み出す流れ場などが主なもので、外洋起源のものでは、境界（瀬戸内海の開口部）水位変動、黒潮の離岸・接岸が挙げられる。特に境界水位の長期的な変動（Fig.1）は瀬戸内海の流れ場に影響を及ぼしていると予想され、経年的に変動している黒潮の離岸・接岸（Fig.2）と境界水位との対応関係を解明することも重要となる。そこで本研究では、瀬戸内海の通過流量を各年で再現し、その決定要因および黒潮流軸が瀬戸内海の水理現象に及ぼす要因について考察を行った。

2. 数値解析の概要

鉛直積分された運動方程式及び連続式を基礎方程式とした平面二次元解析を行う。開境界条件としては豊後水道（油津・土佐清水）・紀伊水道（小松島・白浜）の日平均水位（JODC¹⁾より取得）を与え、河口においては瀬戸内海に流入する21の一級河川の河川流量（流量年表から取得）を各月で与えて解析を行う。運動方程式内の圧力勾配項中には、浅海定線調査（各県水産試験場が毎月行っている水質調査）から得られた水温・塩分データを用いて国際状態方程式から算出した密度分布、および海面気圧分布（気象庁²⁾）の効果をモデル化しており、流動における圧力場として実測された海面気圧分布と密度分布を与えることで実際に近い流れ場を再現した。また、内海の密度場が瀬戸内海の通過流量にどの程度寄与するのかを算出するため、密度を一定に設定した計算も行った。Fig.3に浅海定線調査の

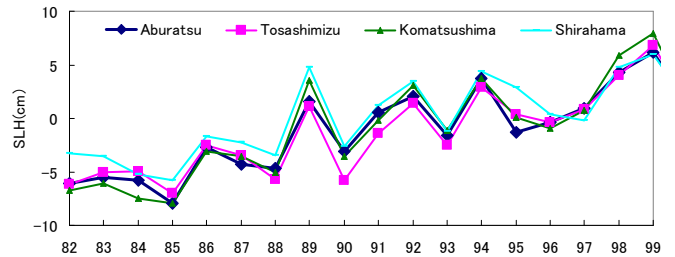


Fig.1 境界水位年平均値の18年間の変動

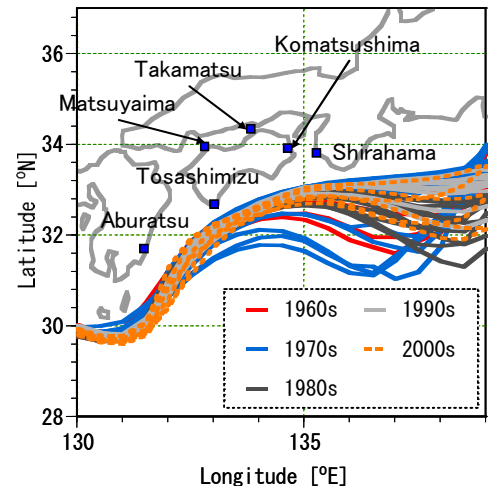


Fig.2 黒潮流軸の経年変動と

境界水位および計算水位出力地点

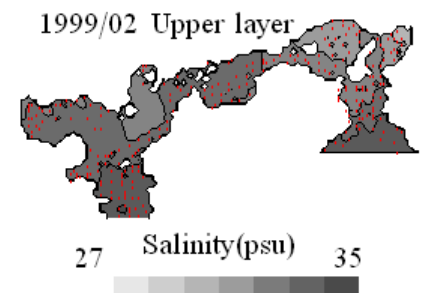


Fig.3 浅海定線調査地点と上層塩分分布

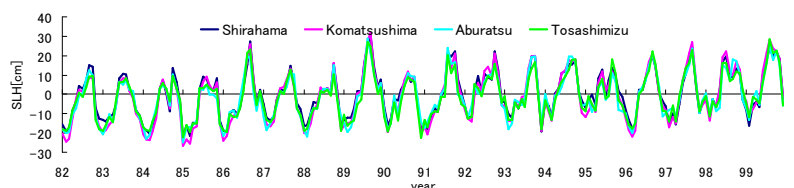


Fig.4 境界水位の月変動

データを用いて算出した瀬戸内海全域の塩分分布と浅海定線調査地点，**Fig.4**に境界水位の1982年から1999年の月変動を示す．境界水位は各年で異なった変動を示しており，各年での解析が重要であることがわかる．

3.解析結果

Fig.5に高松における1982年～1999年までの実測水位および計算水位の日平均値を，**Fig.6**に高松および松山における計算水位と実測水位の月平均値の相関図を示す．これらの図から1982年～1999年の水位を各年で十分な精度で再現できていることが分かる．

瀬戸内海の流れ場（通過流量）については**Fig.7**および**Fig.8**に両境界水位差（豊後と紀伊の差）と通過流量の相関図を示す（**Fig.7**：実測密度での結果，**Fig.8**：一定密度（ $=1.024\text{g/c m}^3$ ）での結果）．**Fig.7**および**Fig.8**における直線は，最小二乗法から求めた傾きで，通過流量のばらつきの程度を判断するための直線である．この図から，瀬戸内海の通過流量と境界水位差が線形の関係にあり，すなわち通過流量は境界水位差を駆動力として発生していると考えられる．加えて，一定密度を用いた計算（密度が一定であるため計算上密度流が発生しない）では強い線形の相関が見られるが，実測密度を与えた場合流量がプラス20000 m^3/sec 程シフトしており，瀬戸内海における東西海域の密度差が通過流量（ばらつき）を支配していることが分かる．

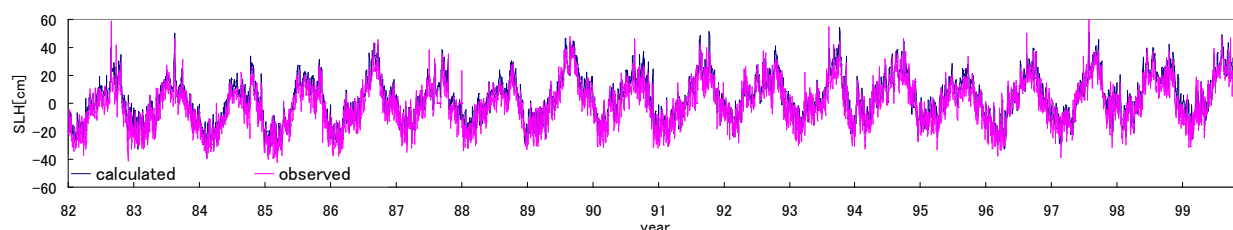


Fig.5 高松における実測水位と計算水位の比較

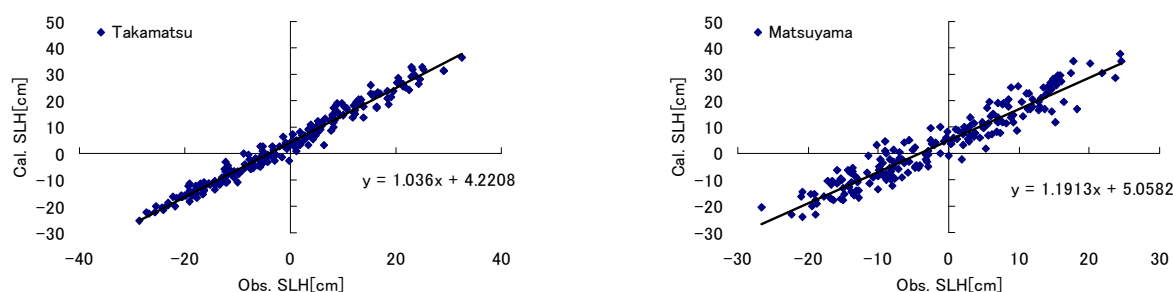


Fig.6 高松（左図）および松山（右図）における実測水位と計算水位の相関

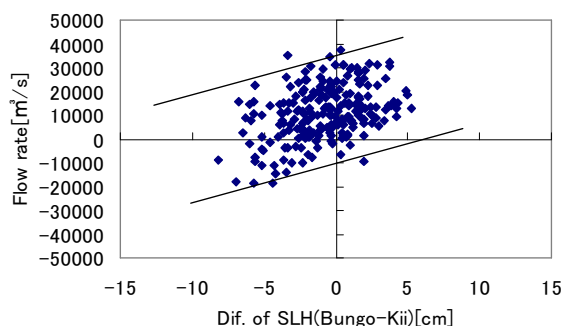


Fig.7 境界水位差と豊後水道での通過流量（実測密度）

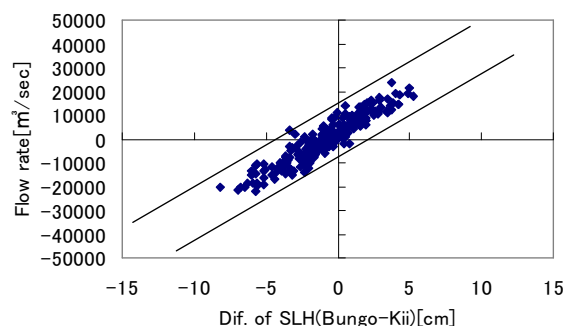


Fig.8 境界水位差と豊後水道での通過流量（基準密度 $=1.024\text{g/c m}^3$ ）

4.黒潮流軸の経年変化が瀬戸内海境界部および瀬戸内海通過流量に与える影響

黒潮流軸は **Fig.1** でも示したように、経年的に蛇行・非蛇行を繰り返している。黒潮が境界に与える物理的な要因としては自身の流速・水位・水温が挙げられ、既往の研究においては 数年単位での時間スケールで黒潮流軸位置との考察がなされている³⁾。本研究では黒潮流軸位置に加え、黒潮が瀬戸内海境界に及ぼす直角方向の運動量の効果を検討するため、黒潮流軸向きについても考察を行った。黒潮流軸向きは **Fig.9** に示すように、各境界において境界の経度範囲内の黒潮流軸の東西端の座標を緯度・経度データから求め、その二点から真東を基準とし、反時計回りを正として黒潮流軸向きを算出した。

1982 年～1999 年において、黒潮流軸位置は紀伊水道側では北緯 31.91～33.19 度をとっている。**Fig.10** に紀伊水道における黒潮流軸向きと紀伊境界水位の関係を示す。水位は 18 年間の平均値からの差を表し、向きは 18 年間平均値からの差を表す。黒潮流軸向きが突発的に大きくなっている時期（1986 年、1989 年、1992 年、1994 年は二回、1995 年、1999 年）の紀伊境界水位は平年値よりも大きくなっている。また、1982 年から 1999 年の紀伊境界側での黒潮流軸位置は緯度にして 1 度程度の変動でほぼ安定していると見ることができ、このように黒潮が非蛇行経路をとり、加えて前述した年などの突発的に黒潮流軸向きが大きくなる場合は境界水位が上昇すると考えることができる。

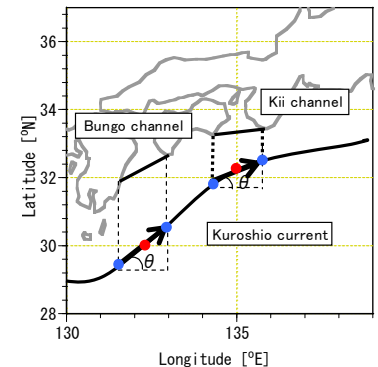


Fig.9 黒潮流軸向きの算出方法

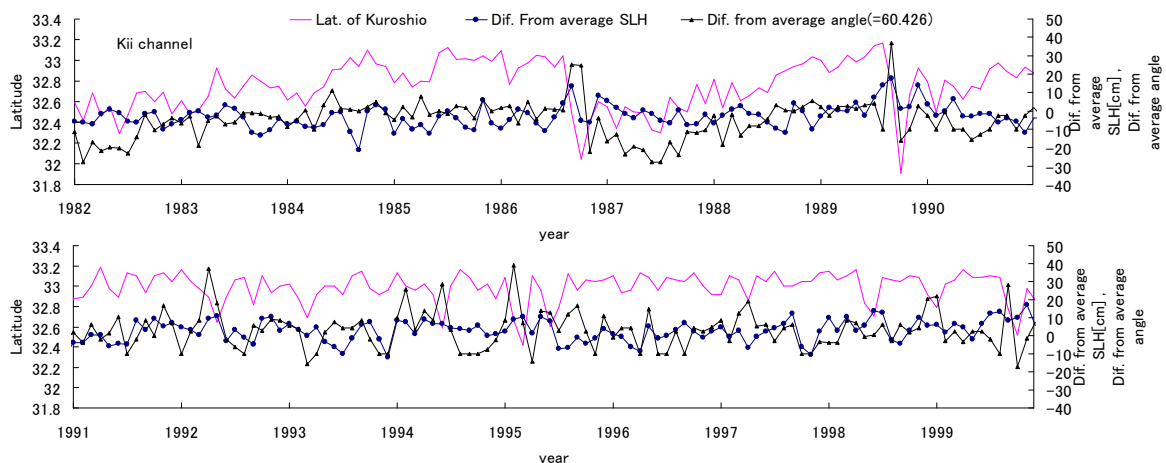


Fig.10 紀伊境界水位と黒潮流軸位置および向き（上図：1982 年～1990 年、下図：1991 年～1999 年）

また、**Fig.11** および **Fig.12** に豊後水道における通過流量（流入を正とする）と黒潮流軸位置および黒潮流軸向きの 18 年間の変動を示す。通過流量は月平均された値の平年値からの差を表し、黒潮流軸向きは 18 年平均値からの差を表している。この図から、瀬戸内海通過流量は黒潮流軸位置との対応が向きとの対応よりも良いことが分かる（1982 年～1983 年、1985 年～1986 年夏季、1987 年～1988 年、1996 年～1998 年）。しかし、黒潮流軸向きとの対応がある月もあり、瀬戸内海通過流量は、黒潮流軸位置だけではなく、黒潮流軸向きからも影響を受けていると考えることが出来る。

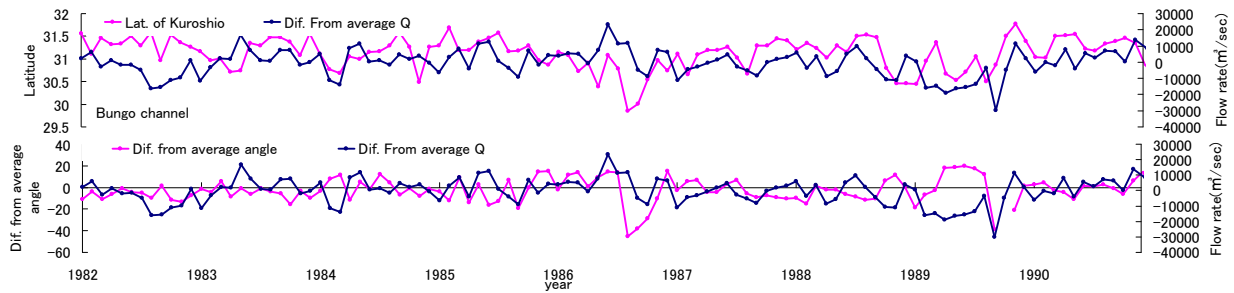


Fig11. 1982 年～1990 年の瀬戸内海通過流量と黒潮流軸位置（上図）および瀬戸内海通過流量と黒潮流軸向き（下図）

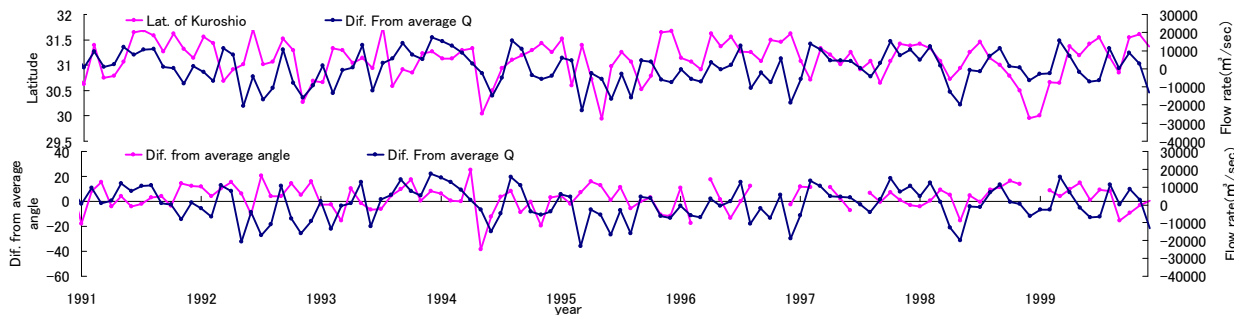


Fig12. 1991～1999 年の瀬戸内海通過流量と黒潮流軸位置（上図）および瀬戸内海通過流量と黒潮流軸向き（下図）

5. 結論

1982 年から 1999 年までの解析結果は実測値を十分な精度で表すことができた。瀬戸内海通過流量は豊後水道と紀伊水道の境界水位差を駆動力としており、通過流量は瀬戸内海東西域での密度差によって支配されていることが明らかとなった。また、境界水位の変動要因の一つとして黒潮流軸について考察を行い、紀伊水道側では黒潮流軸が非蛇行経路を取り、突発的に黒潮流軸向きが大きくなる場合はそれに対応して紀伊水道側で水位が大きくなることが示された。黒潮流軸と瀬戸内海通過流量に関しては、黒潮流軸位置との対応が見られたが、黒潮流軸向きも通過流量に影響を与えていることが示唆された。

参考文献

- 1) 日本海洋データセンター: http://www.jodc.go.jp/index_j.html
- 2) 気象庁: <http://210.191.207.82/yukiken/>
- 3) 越智達郎 (2006) : 瀬戸内海における水位上昇量の予測, 広島大学工学研究科社会環境システム環境グループ修士論文