

広島湾における季節的な流動外力の特性

駒井克昭*・日比野忠史**・松本英雄***

広島湾における季節的な流れの変動要因とその特性について検討を行っている。まず、広島湾における流れの平面・鉛直構造が9~10月頃に変化していることを示している。次に、湾口部の水位と密度の関係から、音戸瀬戸における湾外水の流入圧が大きくなる時期を見出している。最後に、瀬戸内海全域を対象とした流れの数値計算により、瀬戸内海スケールの流れが湾外水の流入傾向の季節変化と関連が強いことを明らかにしている。

1. はじめに

瀬戸内海奥に位置する広島湾は地形が複雑に入り組んでおり、北部海域と呉湾は一つの閉鎖的な海域となっている(図-1)。北部海域は厳島(宮島)と江田島・西能美島に囲まれ、湾外との海水交換は大野瀬戸と宮島瀬戸(奈沙美瀬戸を含む)に限られており、呉湾は江田島と倉橋島に囲まれ、湾外との海水交換は早瀬瀬戸と音戸瀬戸に限られている。一方、湾北端には太田川(一級河川)河口があり、雨季には豊富な淡水が流入(流量約160 m³/s, 1990~2000年の7月の平均値)している。太田川の河川水の流入や湾外水の流出入等の季節変化は、湾内の物質循環にとって重要な外的要因であると考えられる。近年の研究によると、広島湾北部海域では夏季に重力鉛直循環流(山本ら, 2000), 冬期に吹送流(橋本ら, 2000)が卓越するとされている。一方で、内湾の水理現象は様々な時間・空間スケールの外力を受けており、特に地形が複雑で河川流入も多い広島湾においては、外力条件として主要な流動外力を抽出することは難しい。

開口部の広い宮島瀬戸と狭かな音戸瀬戸, 早瀬瀬戸, 大野瀬戸では湾内外の海水交換量や湾外からうける流動外力の特性が異なると考えられる。本論文ではまず、内湾スケールの流れの平面・鉛直構造の季節変化と瀬戸部における流入の関係性を考察した。次に、瀬戸部における水位と密度の関係から、瀬戸部での湾外水の流入圧の季節変化を明らかにした。最後に、瀬戸内海全域スケールの流れと瀬戸部での流入圧の関連について検討している。

2. 河川水の拡がりの季節変化

広島湾において航行している海面清掃船(中国地方整備局)の自動水質測定データ(海面下約2mの水質を4秒毎に測定)を航跡に沿って濃淡で表すことにより、地形が複雑に入り組んだ広島湾における河川水の平面的な

拡がりとその季節変化について検討を行った。

図-2は9月上旬と10月中旬の表層の塩分分布を示している。9月6日に広島で101 mm, 呉で39 mmの雨量, 10月16~17日に広島で68 mm, 呉で74 mmの雨量が観測されている。主に太田川河口付近には河川水の拡がりを示す淡い領域がみられる。(a)9月上旬には低塩分水は宮島瀬戸を通過しているが、音戸瀬戸と早瀬瀬戸付近には塩分の急変部が見られることから、宮島瀬戸と音戸瀬戸・早瀬瀬戸で湾外水の流入の強さが異なることが

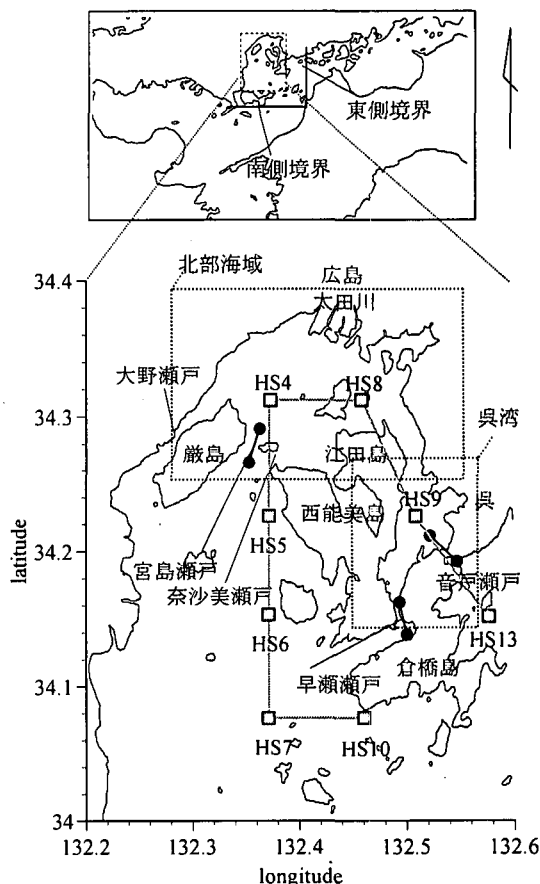
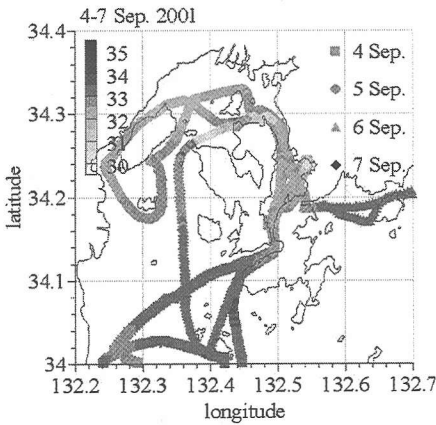


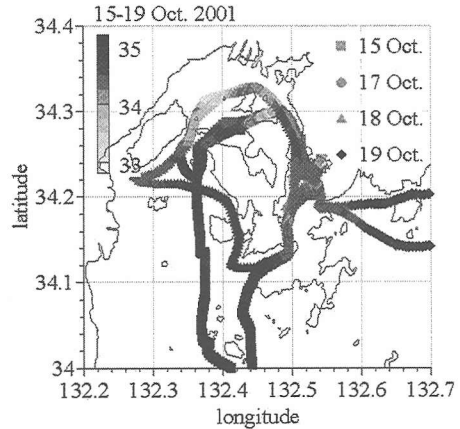
図-1 広島湾の地形と観測地点 (HS**: 中国地方整備局, ●: 海面清掃船データ抽出地点)

* 正会員 工修 広島大学助手 大学院工学研究科
** 正会員 工博 広島大学助教授 大学院工学研究科
*** 国土交通省中国地方整備局



(a) 4 - 7 September 2001

(雨量：広島 101mm, 呉 39mm)



(b) 15 - 19 October 2001

(雨量：広島 68mm, 呉 74mm)

図-2 広島湾における表層塩分分布 (海面下 2 m の塩分)

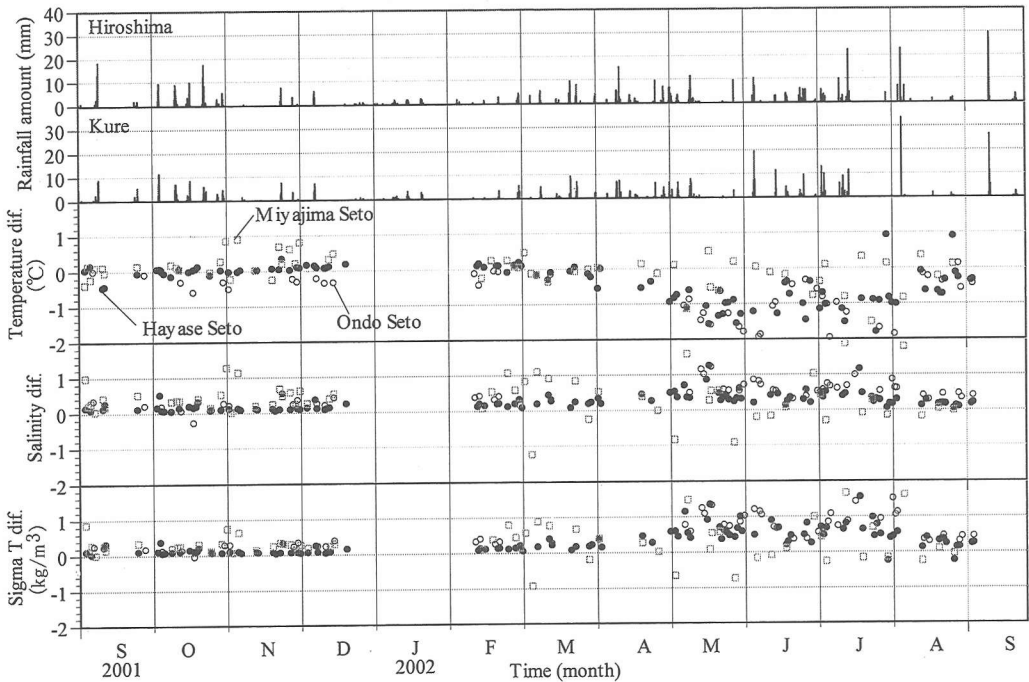


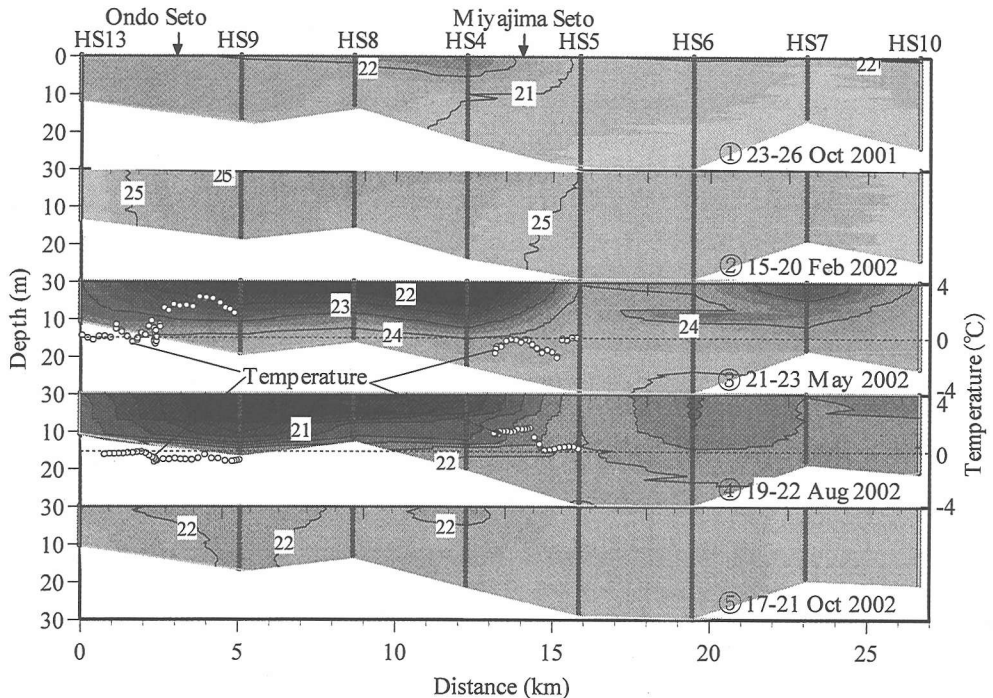
図-3 広島, 呉における降水量および早瀬瀬戸, 音戸瀬戸, 宮島瀬戸における表層 (水面下 2 m) の水温差, 塩分差および密度差の経時変化 (湾外-湾内: 図-1 の ●-● で示された地点間の差)

考えられる。また、同規模の降雨に対する呉湾の表層塩分の応答は、(a) 9 月上旬には低い、(b) 10 月中旬には塩分が高い状態にあることから、河川水の拡がり、3 次元的な流れ構造をもち、その流れが季節的に異なることが考えられる。

図-3 は広島, 呉における降水量および早瀬瀬戸, 音戸瀬戸, 宮島瀬戸における表層 (水面下 2 m) の水温差, 塩

分差および密度差の経時変化を示している。ここでは図-1 で示されている各瀬戸での 2 つの ● の地点で抽出された海面清掃船による自動測定データの差 (湾外-湾内) が示されている。

宮島瀬戸では、特に 3~8 月にかけて塩分差が正負にばらつきが大きく、 ± 1 を超える塩分差が生じている。このことから、開口部が広い宮島瀬戸では、高塩分の湾外水



図一4 広島湾における σ_t の縦断分布 (図一1 参照) の季節変化 (2001 年 9 月～2002 年 9 月, 単位: kg/m^3) および音戸瀬戸, 宮島瀬戸における湾外との水温差の縦断分布 (③と④, 水面下 2 m, 基準は HS 13 および HS 5 の水温)

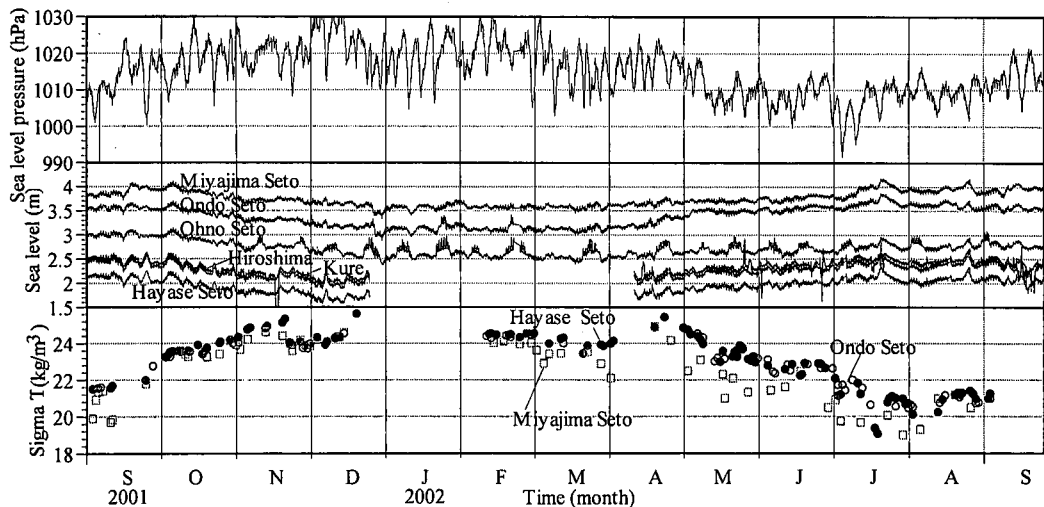
と低塩分の湾内水が混合せずに混在していることが考えられる。一方, 狭窄部である音戸瀬戸と早瀬瀬戸では, 特に 5～8 月に塩分差が 1 程度, 密度差が $1 \text{ kg}/\text{m}^3$ 程度まで大きくなることがある。これは, 開口部が狭く, 瀬戸をはさんで常に湾外の高塩分水と湾内の低塩分水が存在することと, 湾内水が停滞することによって水温が上昇するためである。

図一4 は広島湾における密度 (σ_t) の縦断分布 (図一1 参照) の季節変化および音戸瀬戸, 宮島瀬戸における湾外との水温差の縦断分布 (③と④, 水面下 2 m, 基準は HS 13 および HS 5 での海面下 2 m の水温) を示している。密度の縦断分布は国土交通省中国地方整備局による瀬戸内海総合水質測定調査 (伊予灘～紀伊水道で 142 点, 中国地方整備局) での年 4 期 (2, 5, 8, 10 月期) のデータから求められており, 測点間の値は内挿された値である。また, 水温の縦断分布は海面清掃船の自動測定によるものであり, 瀬戸の通過に要した時間は 1 時間以内である。北部海域 (HS 4, HS 8) と呉湾 (HS 9) においては 5 月期と 8 月期で密度成層が発達している。5 月期には音戸瀬戸において縦断方向に水温が約 3°C 変化しており, 湾外水と湾内水の境界となっていることがわかる。8 月期には水温差はほとんどなくなり, 高水温, 低塩分の湾内水が瀬戸付近に広がっている。

3. 瀬戸部における湾外水の流入圧の季節変化

広島, 呉の水位と瀬戸部における水位の相対関係から湾外水の流入圧の季節変化について考察を行った。図一5 は 2001 年 9 月～2002 年 9 月における海面気圧 (広島地方気象台), 大野瀬戸, 宮島瀬戸, 音戸瀬戸, 早瀬瀬戸, 広島, 呉における水位の 24 時間移動平均値および宮島瀬戸, 音戸瀬戸, 早瀬瀬戸における密度 (σ_t) の経時変化を示している。密度は海面清掃船によって測定された海面下 2 m の値を示している。各地点における水位の基準は統一されていないが, 水位の相対関係でそれらの季節変化が比較できる。夏期には海面気圧の低下に伴って平均的に水位が上昇しているが, 特に 5～7 月にかけては, 他の地点に比べて音戸瀬戸の水位上昇が顕著である。2001 年 9 月から 2002 年 2 月にかけては, 各瀬戸とも密度が上昇し, 宮島瀬戸と音戸瀬戸, 早瀬瀬戸の密度は同程度であるが, 3 月以降では宮島瀬戸の密度低下に比べて音戸瀬戸での密度低下は $2 \text{ kg}/\text{m}^3$ 程度小さい。水位が高く, 密度が大きいことから, 音戸瀬戸における湾外水の流入圧力が上昇し, 湾外水の影響が強くなっていることが推定される。

図一6 は湾内の各地点における月平均水位変動量を 2001 年 9 月～2002 年 2 月と 2002 年 2 月～2002 年 9 月



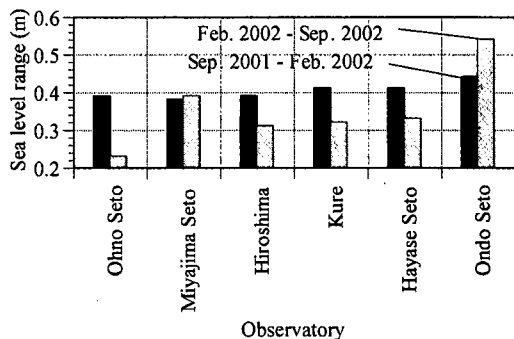
図一五 海面気圧、水位（宮島瀬戸、大野瀬戸、音戸瀬戸、早瀬瀬戸、呉、広島、24時間移動平均値）および密度（宮島瀬戸、音戸瀬戸、早瀬瀬戸）の経時変化（2001年9月～2002年9月）

の期間に分けて示している。音戸瀬戸の水位の年較差が特に大きく、2月～9月にかけて大野瀬戸の水位変動量が小さかったことがわかる。このように、湾外水の流入圧が瀬戸毎に異なることや年スケールの水位変動量が異なることから、内湾における流動の外力の一つとして、より大きな時間・空間スケールの水理現象との関連を考慮することが重要となる。

4. 瀬戸内海における流れの季節変動と瀬戸部における流入

瀬戸部における湾外水の流入圧の季節変化は、瀬戸内海全域スケールの流れの季節変化との関連があると考えられる。そこで、平面2次元数値モデル（駒井ら、2002）を用いて瀬戸内海全域を対象とした通年の流動シミュレーションを行い、瀬戸部における流入と内海全域スケールの流れの関係について考察を行った。

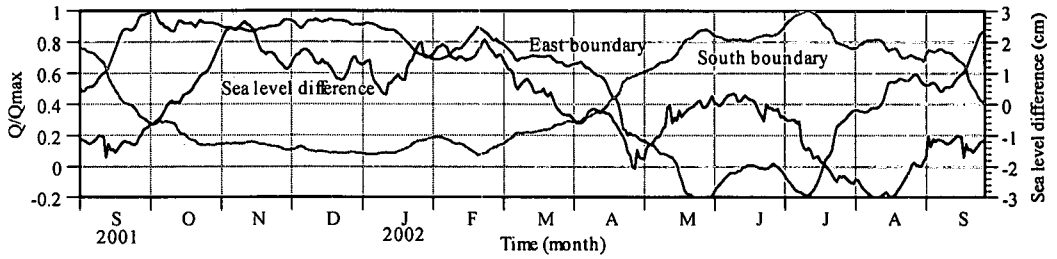
計算では、外海境界（紀伊水道、豊後水道）の平年（1985～1999年の平均値）の水位変動（気象庁、海上保安庁）と1級河川からの流入を外力として与えている。河川水や日射による密度場の季節変化を考慮するため、瀬戸内海総合水質測定調査（周防灘、豊後水道では福岡、山口、大分、愛媛県水試による浅海定線調査データで補間）による実測密度を与えている。また、季節的な気圧配置の変化も考慮するため、実測の海面気圧を与えている。密度分布および海面気圧分布は、実測値を用いて空間的に距離荷重平均、時間的には直線補間により求められ、圧力勾配項に付与されている。ここでは日比野ら（2001）の平均海面の推定法に従い、海面気圧勾配が最も小さくなる時期に瀬戸内海の平均水位勾配がゼロになる基準海



図一六 月平均水位の年較差（大野瀬戸、宮島瀬戸、広島、呉、早瀬瀬戸、2001年9月～2002年2月、2002年2月～9月）

面を定め、境界水位を与えている。

図一七は広島湾の東側境界および南側境界（図一参照）を通過する日平均流量（計算値）および松山―広島の水位差（実測）の季節変動を示している。計算によると、広島湾周辺の季節的な流れは4～9月と10～3月の期間で大別できる。すなわち、10～3月には外海水が豊後水道から流入し、東向きに通過する流れが卓越しているのに対し、4～9月には河川流量の増加や外海（豊後水道、紀伊水道）の水位のバランスの変化に伴って西向きの流れ傾向に転じることが推定される。また、同時期には広島の水位が湾外（松山）の水位に比べて高く、湾外からの流入圧力が低下する。これは音戸瀬戸の水位変動によく対応しており、西向きの流れが広島湾の東側境界に直行することで、音戸瀬戸の流入圧を高めていることが考えられる。宮島瀬戸は開口部が大きく河川流入が多く、



図一七 広島湾の東側境界および南側境界（図一参照）を通過する日平均流量（計算値， Q_{max} ：最大流量，東向き，南向きが正）と松山ー広島の水位差（実測，気象庁，海上保安庁）の季節変動

早瀬瀬戸は地形的な条件から瀬戸内海全域スケールの流れの影響を受けにくいと考えられる。

5. おわりに

広島湾においては狭大な瀬戸の存在等のため，流れの平面・鉛直構造が北部海域と呉湾で異なり，河川水の流出と湾外水の流入傾向が異なることが明らかにされた。湾外からうける外力としては，宮島瀬戸や早瀬瀬戸での湾外水の流入圧は一年を通して弱く，宮島瀬戸では湾内水の影響が特に強い。一方で，音戸瀬戸での湾外水の流入圧は瀬戸内海全域スケールの流れによって強くなる時期がある。

以上のことから，音戸瀬戸は湾外水の流入圧の季節変動を表しており，外力条件として有効な境界である。一方，宮島瀬戸は開口部の大きさに対して雨季の河川流出が多いため，一年を通して有効な外力条件を与えるには

広い境界を考えることが望ましい。

謝辞：広島，呉の海面気圧データは広島地方気象台，呉測候所によるものである。広島，柿浦の潮位データは広島県から提供頂いた。瀬戸内海の潮位データは気象庁および海上保安庁によるものである。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 駒井克昭・日比野忠史（2002）：瀬戸内海における水位の季節変動量の推定，海岸工学論文集，第49巻，pp. 381-385.
- 橋本英資・朱小華・長尾正之・高杉由夫（2000）：広島湾の海洋構造に及ぼす風の影響，海と空，76巻，3号，pp. 9-15.
- 日比野忠史，駒井克昭，浅井正（2001）：瀬戸内海平均海面の推定，水工学論文集，第45巻，pp. 1073-1078.
- 山本民次，芳川忍，橋本俊也・高杉由夫・松田治（2000）：広島湾北部海域におけるエスチャリー循環過程，沿岸海洋研究，37巻，2号，pp. 111-118.