

博多湾の潮流変化に影響を及ぼした沿岸開発と海面上昇

蛭 間 豊 春

東亜大学大学院 総合学術研究科 総合技術専攻研究生

〈要 旨〉

本研究は、高度経済成長期に海面の埋立てや海底浚渫により、自然海浜や干潟を失った沿岸海域について、潮汐に与えた影響を分析した。加えて、人類の活動によって排出された温室効果ガスによる地球温暖化という全地球的な気候変動に伴った海面上昇が、湾内の流動変化や物質交換機能の低下をもたらすものという考えから潮流変化の推定をおこなったものである。

研究対象海域は、北部九州に位置する博多湾を選定し、湾内の開発が与える潮汐現象の変化と海面上昇による潮流速度の低下を予測したものである。

沿岸開発によって、湾奥の潮差は約3cm縮小し、潮流速度は、6～7cm/sec低下すると予測した。さらに、平均海面の上昇約40cmによる流速の低下は、3～4cm/secとなり、合わせて9～11cm/secの低下となった。したがって、今世紀末の湾奥の潮流速度は、沿岸開発や海面上昇の影響を受けていなかった1900年初頭の流速15～20cm/secが7～8cm/secにまで減速し、約50%以下に低下するという予測結果を得た。

〈目 次〉

1. はじめに
2. 博多湾の概要
3. 博多湾の海面埋立ての歴史
4. 博多湾の海面変化
5. 海面埋立てが潮汐、潮流に及ぼす影響の分析
6. 沿岸開発の影響による潮流の変化
7. 海面上昇の影響による潮流の変化
8. まとめ

1. はじめに

1970年代から始まる高度経済成長期に海辺の開発は急速に進み、沿岸域は産業や流通のための空間に変貌していった。例えば、海面埋立てなどにより砂浜や干潟が消失し、海辺は自然を失い人工化した構造物などが占めるようになった¹⁾。また、沿岸の流域からは汚濁物質が海域に流れ込み、水環境を悪化させて公害という大きな社会問題になった。このため、下水道整備などさまざまな環境保全対策が進められていったが、期待するほどの効果があがらず、現在でも環境基準を達成できて

いない海域も数多い²⁾。この原因の一つに、埋立てや干拓、港湾整備に伴う航路浚渫や埋立て用土砂採取による浚渫など、大規模な地形改変が潮汐に影響を及ぼし干満に伴う流れを弱め物質の移動範囲を狭めて滞留化を促したことが考えられ、対策を実施したにも関わらず水質改善の効果が出ないのではないかと考え方が出ている^{3), 4)}。

加えて、人間活動の増大によって大気中に放出された温室効果ガスは、ますます増加して地球温暖化という全地球的な気候変動をもたらす結果となった。その主因に化石燃料の使用の増加である

といわれ、産業革命以前に比べて、その量は約1.4倍（2005年現在）になっている⁵⁾。このため、19世紀以降地球の平均気温は0.74℃（0.56～0.92℃）上昇し、平均海面も0.17m（0.12～0.22m）上昇したと報告している⁶⁾。

平均海面は恒常的なものではなく場所や季節、長期的な自然周期の変化によって変動を繰り返す⁷⁾。さらに気温の周期的変動に伴う極氷や氷河の増減など海水の容積変化に起因する経年的な変化もある。また、地球温暖化の影響による平均海面の上昇が予測され、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第4次評価報告⁸⁾によれば、2100年までに0.18～0.59mの上昇が見込まれている。

本論文は、博多湾を対象に海域の埋立て開発、浚渫と地球温暖化等の影響による海面上昇によって変動する潮流について分析し、環境保全対策のための基礎資料を得ようとするものである。

2. 博多湾の概要

博多湾は北部九州に位置する内湾の一つで、福岡市に囲まれ、人口約200万人（2005年現在）が生活を営んでいる。

海域の表面積は約133km²、平均水深約10mの穏やかな半閉鎖性の内湾を形成し、豊かな水産資源を提供し、古くから大陸との交流拠点としての港として栄え、現在も湾奥にアジアに開かれた港として、国内有数の規模を誇る博多港が稼動している（図-1参照）。

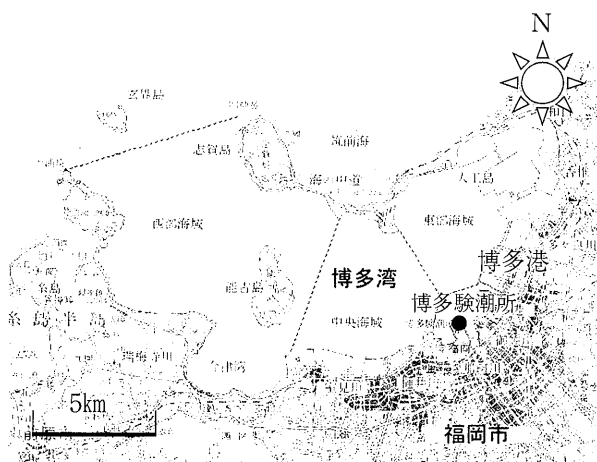


図-1 博多湾

3. 博多湾の海面埋立ての歴史

博多湾の近代的な開発は、1889年7月博多港の開港指定から始まった。

大規模な海面埋立てが実施されたのは、1970年代の高度経済成長期以降で、博多港中央周辺の埠頭および石油関連施設用地調達のために約370haや都市施設用地確保のために東部海域534ha、中部海域に250haの埋立てが行われた。さらに1995年度に埋め立てが開始され、2002年に概成した人工島建設事業などがある（図-1参照⁹⁾）。博多湾は、2005年現在までに1,557.5haの埋立てがおこなわれて約12%の海面積が減少している（図-2参照）。

主に海面埋立てが行なわれたのは東部海域および中部海域で、西部海域は大規模な開発が行われなかったため、比較的自然環境が維持、保全された海域となっている⁹⁾。

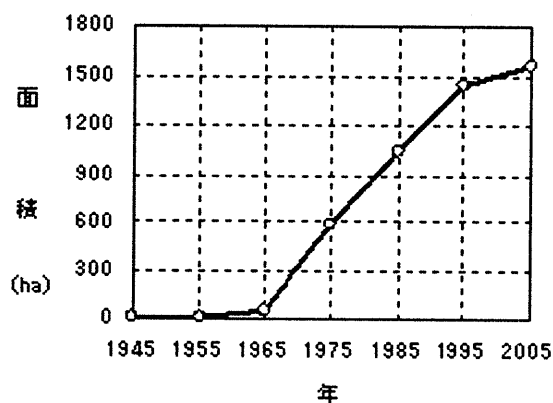


図-2 埋立て面積の推移

湾内の水深を海図¹⁰⁾から分析すると、中部海域から東部海域にかけて、航路および埋立て用土砂採取の浚渫によって浅場を大きく変化させていることがわかる（図-3参照）。

1975年以降、埋立て開発によって変貌させた海岸線の様子を見ると、湾奥の変化が著しい（図-4参照）。このように、博多湾は幾度かの海面埋立てや浚渫によって形を変え今日の姿となっている。

4. 博多湾の海面変化

平均海面の季節的な変動は、夏季に海水温度が高くなって海水が膨張することが主因であり、冬季に比べて大気圧が平均的に低いことによる海面

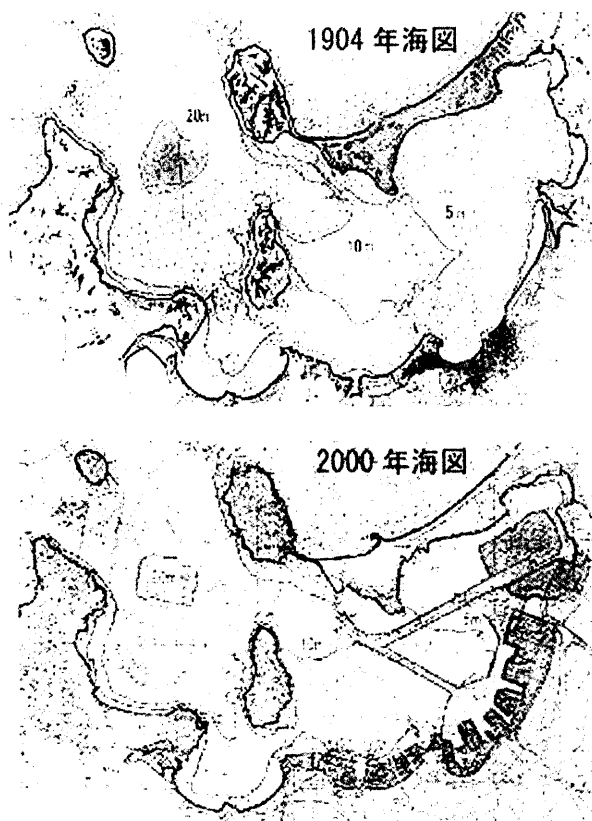


図-3 博多湾の水深¹⁰⁾

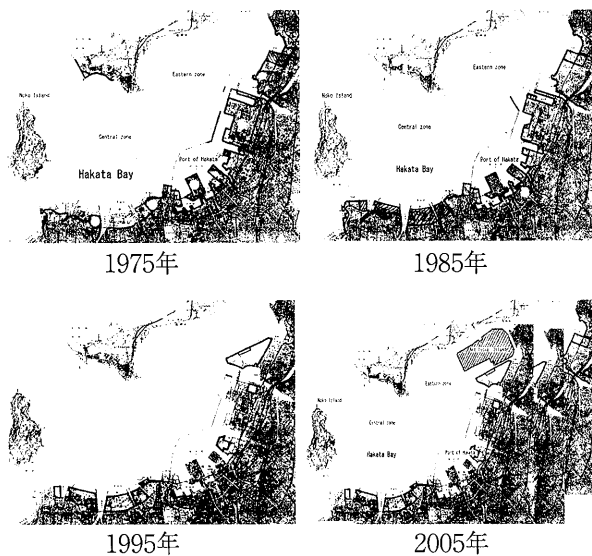


図-4 博多湾の海岸線の変化¹¹⁾

の吸い上げも寄与しているといわれる。長期的な変動としては、黄道上の月の昇交点（天体が黄道面の南側から北側に進む点）の移動に伴って約18.6年の周期で数cm程度の昇降を繰り返す。また、気象変動による氷河や棚氷の溶解による海水の容積変化で平均海面が変動するなどの様々な要因によって海面変化を繰り返している¹²⁾。

博多験潮所（観測開始1965.11，博多港東浜埠頭，図-1参照）における1970～2006年の37年間の年平均潮位¹³⁾を示すと、1970～1984年までの15年間は約0.22cm/年の低下傾向となっていたが、1985年以降約0.44cm/年と上昇に転じている（図-5参照）。実測潮位には、地盤の降下や上昇の効果が含まれるので、この数値の全てが地球温暖化による上昇分であると断定することは出来ないが、博多湾の平均海面は、1985年以降21年間に約10cmの上昇があったことが認められる。さらに、21世紀末には約40cm程度の平均海面の上昇が見込まれ、1985年時点の平均海面から約50cm上昇するものと予測できる（図-5参照）。

季節的な変動について、1970～2006年間の月別平均潮位¹⁴⁾の変化をみると、1～3月に最低潮位となり、8～9月に最高潮位を示し、その差は約40cmの変動となっている。各年の月最大、平均、最小値をみると、最大、最小値ともに平均値に対する偏差は約20cmで推移し、偏差の変化は見られなかった（図-6参照）。

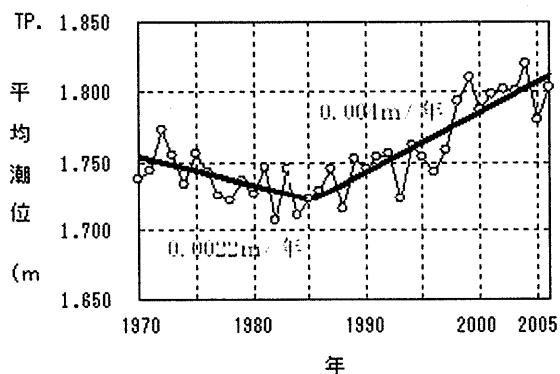


図-5 博多湾の年平均潮位の推移

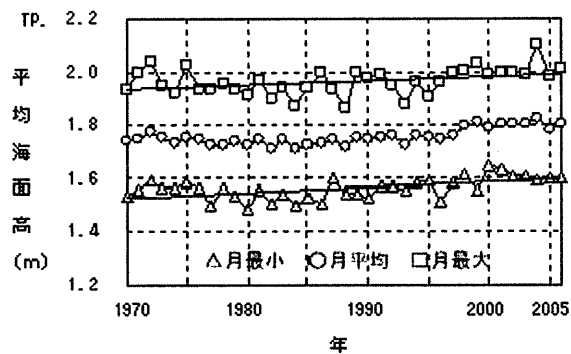


図-6 博多湾の月最大、月最小、月平均海面高の推移

月別の平均潮位について、極小値を示した1985年以前と以降の2つのグループに分けて分析をすると、後者が前者に比べ0.1~0.5m程度高い値となり、特に春季がやや高いという結果が見られた。

2004~2006年の気圧との関係を見ると、潮位が最小値を示す冬季に気圧が高く、潮位の最大値の現われる夏季の気圧が平均的に低い結果を示すことから、潮位の季節変化には気圧の変動による影響が大きいものと推定することができる。ただし、その寄与の程度は、静水圧応答1cm/1hPaを仮定すると、全振幅(40cm)の3分の1程度である(図-7参照)。

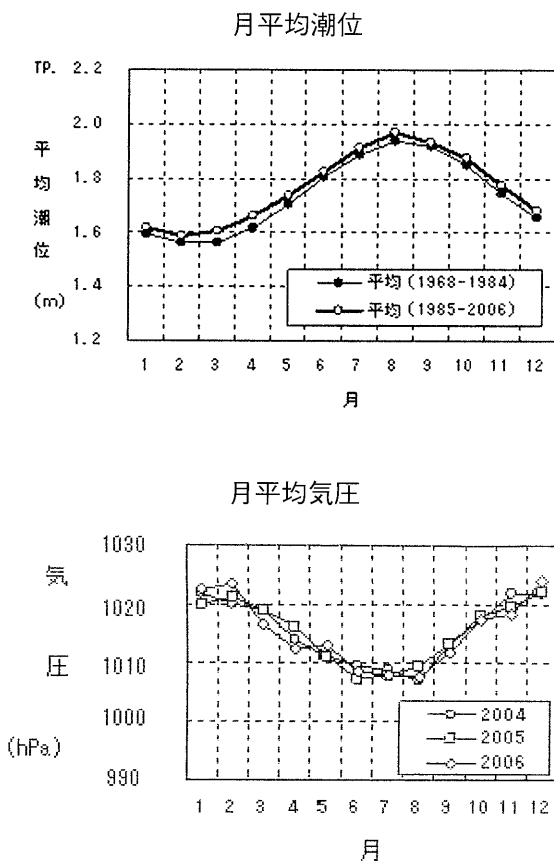


図-7 月平均海面高と月平均気圧の変化
(福岡気象台資料)

5. 海面埋立てが潮汐、潮流に及ぼす影響の分析

5.1 潮汐・潮流に及ぼす影響要因

東京湾において、沿岸の海面埋立てにより湾長が短縮しかつ浚渫による湾の平均水深が深くなることで、湾内自由振動周期が短くなり潮汐振幅が

減少したとの研究結果がある¹⁵⁾。また、伊勢湾では埋め立てなどの開発によって、湾奥の大潮振幅が年々減少しているとの調査結果がある¹⁶⁾。

博多湾においては1975~2000年の観測結果から、半日潮汐振幅が約3cm程度縮小したとの研究報告がされている¹⁷⁾。

5.2 潮汐変化に及ぼす影響の分析

博多湾の海面埋立てや浚渫による地形変化が、潮汐、潮流にどのような影響を及ぼすかの分析をおこなった。

(1) 湾内自由振動周期の変化

湾の自由振動の基本周期は式(1)(2)で表される。

ただし、振動は湾口~湾奥方向のみに発生すると仮定する。

$$T = \frac{1}{C} \frac{4L}{2m-1} \quad \dots(1)$$

$$C = \sqrt{gh} \quad \dots(2)$$

ここに、 m は振動のモードを表わすパラメータ、 C は表面長波(長波とは波長が水深 h よりはるかに長い波をいう)の波速である。

湾の自由振動の周期 T (sec)が、潮汐周期 T_0 (sec)に近づくとき共振が発生する¹⁸⁾。博多湾沿岸の近代的な海面埋立て開発が行なわれていなかった時期(1900年代)の基本周期($m=1$)は、式(3)より算定する。

$$T = 4L / \sqrt{gh} \quad \dots(3)$$

$$= 4 \times 18.6 \times 1000 \div \sqrt{9.81 \times 6.0} = 9,700 \text{ sec}$$

ここに、 L :湾長(m)、 h :海域の平均水深(m)、 g :重力の加速度(m/sec²)である。

式(1)、(2)より計算した博多湾の自由振動周期 T を表-1に示す。なお、潮汐周期 T_0 は表-2に示すとおりである¹⁹⁾。

したがって、博多湾の海面埋立て開発の進捗に伴って、自由振動の周期は短くなり潮汐周期との共振条件から、年代とともに離れていったことを示す。

表-1 博多湾の自由振動周期

年	計算データ				自由振動周期 T (sec)		
	面積 (km ²)	水深 h (m)	湾幅 b (km)	湾長 L (km)	振動モードパラメータ		
					m=1	m=2	m=3
1900	148.6	6.0	8.0	18.6	9,700 2.7 (hr)	3,203 0.9 (hr)	1,922 0.5 (hr)
1975	142.7	7.5	8.0	17.8	8,330 2.3 (hr)	2,778 0.8 (hr)	1,666 0.5 (hr)
1985	138.9	8.5	8.0	17.4	7,586 2.1 (hr)	2,529 0.7 (hr)	1,517 0.4 (hr)
1995	134.2	10.0	8.0	16.8	6,788 2.0 (hr)	2,263 0.6 (hr)	1,358 0.4 (hr)
2005	133.0	10.5	8.0	16.5	6,506 1.8 (hr)	2,169 0.6 (hr)	1,301 0.4 (hr)

表-2 潮汐周期 (T₀)

主太陰 半日周期	12時間25分	月の天球上の日 周運動による潮汐
主太陽 半日周期	12時間00分	太陽の天球上の日 周運動による潮汐
日月合 成日周期	23時間56分	太陽の黄道上の平均的 運行に対する月、太陽 に関連して生ずる潮汐
主太陰 日周期	25時間49分	月の天球上の日周 運動による潮汐の一つ

(2) 潮汐振幅の減少による湾奥の潮差変化

海面の埋立てによる地形変化が、自由振動の周期を短くさせ、潮汐周期との共振条件から離れていくことが明らかとなった。この理由は次のとおりである。博多湾の外海潮位 η_s (m) が式(4)で変動するとき、博多湾内の潮位は、式(5)に示す振動の基本式となる。

$$\eta_s = a_s \cos \sigma t \quad \dots(4)$$

$$\eta = a \cos k(L-x) \cos(\sigma t - \varepsilon) \quad \dots(5)$$

a_s : 外海の潮位振幅, a (m) : 湾内の潮位振幅

博多湾の海域面積は、比較的広いため湾内の潮位 η (m) が一様に昇降するとは考えられないので、博多湾を矩形として考えて、湾の長さを L (m)、幅を b (m)、湾内の表面積を S (m²) = $b \times L$ としたとき、湾奥の相対的振幅 r および位相 ε (rad) は、式(6)で表わされる。

$$r = \frac{a}{a_s} = \frac{\cos \varepsilon}{\cos kL}, \quad \sin \varepsilon = \frac{1}{2B} (-1 + \sqrt{1 + 4B^2})$$

$$B = \frac{4a_s \sigma^2}{3\pi g} \left(\frac{bL}{\beta A} \right)^2 \left(\frac{\tan kL}{kL} \right)^2 \quad \dots(6)$$

$$\sigma = 2\pi/T \quad \dots(7)$$

ただし、 σ は入射波の角振動数 (rad/sec)、 β は流量係数、 A は湾口断面積、 κ (rad/m) = σ/C は波数である²⁰⁾。

式(6)から博多湾の海面埋立て開発による地形変化の結果生ずる潮差を算出すると、1975年以降の潮差は約 3 cm 減少するという結果を得た [208.8 (1975年潮差) - 205.6 (2005年潮差) = 3.2cm] (表-3 参照)。この数値は、青木らの研究結果より算出された値に一致している¹⁷⁾。

以上をまとめると、湾内の海面埋立てや浚渫による開発によって海域の面積、特に湾長 (L) が縮小し、平均水深 (h) を深くしたために、相対振幅 γ が小さくなり潮差が減少したといえる。

5. 3 潮流変化に及ぼす影響の分析

(1) 潮流シミュレーションの基礎式^{21), 22), 23)}

流体を非圧縮性であると仮定し、対象とする領域が地球の大きさに比べ局所的であることから平面として取り扱う。直交座標系 (x, y, z) を用いることにし、その原点を平均海面の 1 点に固定する。平均海面上にそれぞれ x 軸を東向きに、 y 軸を北向きにとる。 z 軸を鉛直上向きにとる。 $z=0$ の平面が平均海面となる。 $h(x, y)$ (m) を平均海面から海底までの水深とする。 $\zeta(x, y, z)$ は潮位で、平均水面から海面までの鉛直深さである。

全水深を $H = h + \zeta$ とおく (図-8 参照)。

表-3 博多湾の潮差予測

年	流量係数 β	湾口断面積 A (m ²)	B	波数 $\kappa = \sigma/C$	海域断面積 bL (m ²)	湾長 L (m)	$\tan \kappa L$	$\sin \varepsilon$	$\cos \varepsilon$	潮差 (m)
1900	0.816497	136,000	0.00164	0.08512	148.6 × 10 ⁶	18,575	0.35276	0.000411	0.999722	2.1202
1975	0.816497	136,000	0.00149	0.09427	142.7 × 10 ⁶	17,838	0.29981	0.000371	0.999774	2.0875
2005	0.816497	136,000	0.00126	0.11076	133.0 × 10 ⁶	16,625	0.23954	0.000316	0.999836	2.0562

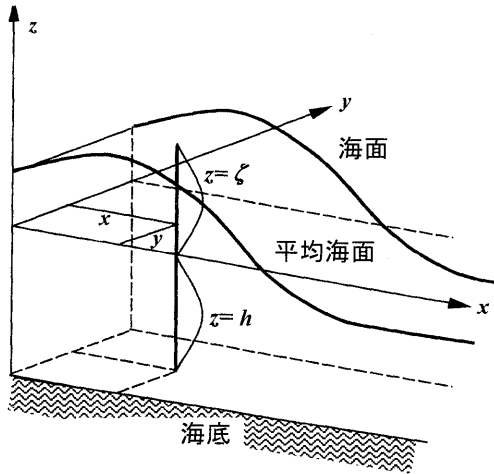


図-8 浅海波の座標系

海水の密度 ρ (kg/m³) は一定とする。 u, v (m/sec) はそれぞれ東向きの流速成分と北向きの流速成分である。水平運動が鉛直運動に比べ卓越している場合を考え、基礎方程式を鉛直方向に積分して2次元的な流れとして取り扱う。 u, v を鉛直方向に積分してその平均をとったものを、それぞれ U, V (m/sec) とすると式(8)を得る。

$$\left. \begin{aligned} U(x, y, t) &= \frac{1}{H} \int_{-h}^{\zeta} u(x, y, z, t) dz \\ V(x, y, t) &= \frac{1}{H} \int_{-h}^{\zeta} v(x, y, z, t) dz \end{aligned} \right\} \dots(8)$$

連続の式は、平均流速 U, V を用いて次式を得る。

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial (HU)}{\partial x} + \frac{\partial (HV)}{\partial y} = 0 \dots(9)$$

h は時間に依存しないので、上式は次のように書き換えられる。

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial (HU)}{\partial x} + \frac{\partial (HV)}{\partial y} = 0 \dots(10)$$

運動量保存式は、水平方向の x, y 各成分について各々次式で表わされる。

$$\frac{\partial U}{\partial t} + U \frac{\partial U}{\partial x} + V \frac{\partial U}{\partial y} - fV + g \frac{\partial \zeta}{\partial x} - \frac{\tau_{sx}}{\rho H} + \frac{\gamma_b U}{H} - M_x = 0 \dots(11)$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} + U \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial V}{\partial y} + fU + g \frac{\partial \zeta}{\partial y} - \frac{\tau_{sy}}{\rho H} + \frac{\gamma_b V}{H} - M_y = 0 \dots(12)$$

ここに、 f (rad/sec) はコリオリの因子とよばれ、地球の自転の角速度を ω (rad/sec)、緯度を ϕ (rad) とすると、次式で与えられる。

$$f = 2\omega \sin \phi \dots(13)$$

γ_b (1/sec) は海底摩擦係数である。 τ_{sx}, τ_{sy} (N/m²) はそれぞれ x 方向、 y 方向の表面摩擦力であり、空気の密度 ρ_a (kg/m³)、水面摩擦係数方向の γ 、風速 w (m/sec) を用いた式から求められる。

$$\tau_{sx} = \rho_a \gamma w_x |w|, \quad \tau_{sy} = \rho_a \gamma w_y |w| \dots(14)$$

また、 M_x, M_y (m/sec²) はそれぞれ x 方向、 y 方向の粘性力である。

$$M_x = \frac{\partial}{\partial x} \left(A_h \frac{\partial U}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_h \frac{\partial U}{\partial y} \right) \dots(15)$$

$$M_y = \frac{\partial}{\partial x} \left(A_h \frac{\partial V}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(A_h \frac{\partial V}{\partial y} \right) \dots(16)$$

ここに、 A_h (m²/sec) は渦動粘性係数である。

(2) 潮流シミュレーションモデル

1) 対象海域のモデル化

計算には格子法を採用した。格子の方向は、経緯度に合わせ湾の北および西の海域境界を開境界とし、水平格子間隔は $\Delta x, \Delta y$ とともに 500m とした。

格子上的変数配置は、スカラー量を格子中央に、ベクトル量を格子の4辺に配置するスタッガード格子を用いた。図内の■印は潮流速度算出格子、○印は潮位および潮流速度の検証格子である。

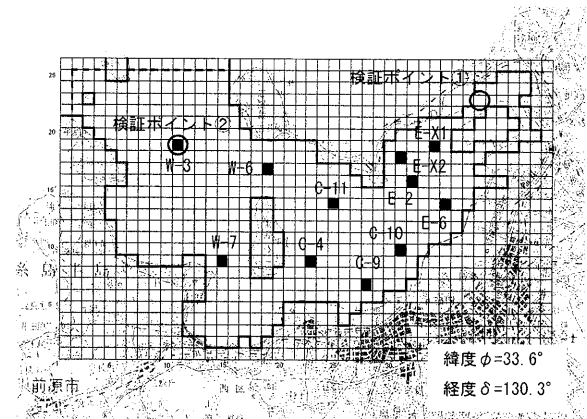


図-9 計算範囲

水深は、海図より東京湾平均海面 (T.P.) に換算して算出した (図-9 参照)。

2) シミュレーションモデルの検証

モデル検証のための計算条件は、次のとおりである。

水平渦動粘性係数 A_k ：リチャードソンの4/3乗則による。

海底摩擦応力 τ ：マンニングの粗度係数 n (sec/m^{1/3})による。

時間ステップの計算安定条件：次式による。

$$\Delta t < \min(\Delta x, \Delta y) / \sqrt{2gh_{\max}} \quad \dots(17)$$

$$= 500 / \sqrt{2 \times 9.81 \times 25} = 22.6 \text{ sec}$$

h_{\max} : 最大水深(m)

海底摩擦係数に0.020, 0.025, 0.030の3ケースを与え、試算の結果から海底摩擦係数を決定する。本研究では、 $\gamma_b = 2.5 \times 10^{-3}$ (表-4参照)を採用した。その他の計算に用いたパラメータは、次表に示すとおりである。

表-4 計算に用いた主なパラメータ

記号	数値	用語説明
f	$8.049 \times 10^{-6} \text{ rad/sec}$	コリオリ因子
g	9.81 m/sec^2	重力の加速度
ρ	$1,022.5 \text{ kg/m}^3$	海水の密度
$\Delta x, \Delta y$	500.0m	格子間隔
γ_b	2.5×10^{-3}	海底摩擦係数
Δt	5sec	計算ステップ時間
ζ_0	1.000m	潮差振幅
T	12hour	計算出力時間
T_0	36hour	潮流計算時間
A_h	$5 \text{ m}^2/\text{sec}$	水平渦動粘性係数

3) 検証結果

博多湾内の潮流観測の資料は極めて少ない。2回の観測資料から、モデルの検証をおこなった。2005年3月9～10日潮流計算結果から、検証ポ

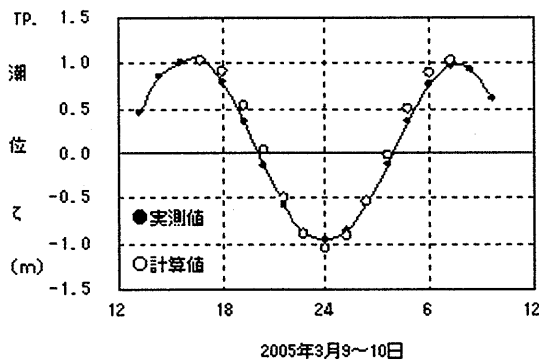
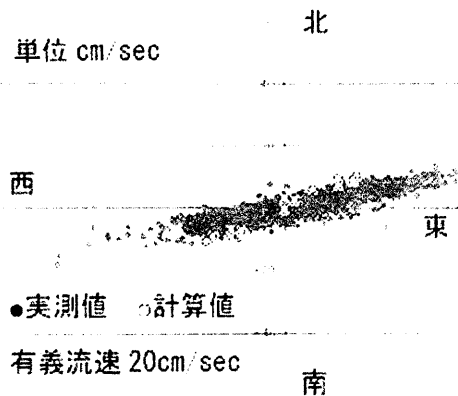


図-10 検証ポイント①の潮位

イント①の潮位と博多験潮所の実測毎時間潮位²⁴⁾を比較し、適合性について検証した(図-10参照)。さらに、2005年3月の1ヶ月間の実測潮流速度の観測から作図されたホドグラフ²⁵⁾内に、計算結果の毎時平均潮流速度、すなわち東向きの流速成分 u と北向きの流速成分 v を座標とした値を記入して毎時平均観測値との比較をおこなった(図-11参照)。

また、2002年10月には、博多湾口(検証ポイント②)で9時間の潮流毎時観測調査がおこなわれた²⁶⁾。時間観測値とシミュレーション計算による毎時潮流速度について相関解析をおこなった。その結果、相関係数0.84と比較的高い精度の関係がとる結果が得られた(図-12参照)。

時間潮位、流速ホドグラフおよび潮流速度の実



測値と計算値と比較検討により、十分な精度をもったシミュレーションモデルであると判定した。

*有義流速：流速の大きい方から1/3までの流速を平均したものを有義の流速という。

*ホドグラフとは、速度と時間のグラフをいう。

図-11 検証ポイント①の潮流速度ホドグラフ

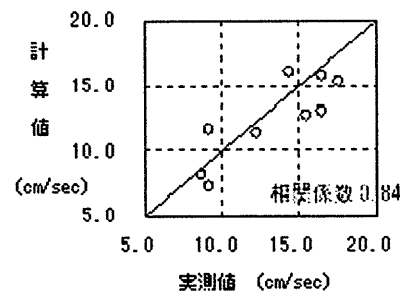


図-12 潮流速度の比較 検証ポイント②

6. 沿岸開発の影響による潮流の変化

6. 1 計算条件

沿岸開発による潮流の変化を検討する潮流シミュレーションのための条件は次のとおりである。

(1) モデル潮差

潮差2.00m 朔望平均満潮位* : T.P.+2.16m
 朔望平均干潮位* : T.P.+0.07m
 (潮差: 2.16-0.07=2.09m)²⁷⁾

* 朔望平均満潮位, 朔望平均干潮位とは:

朔(新月)および望(満月)の日から5日以内に観測された各月の最高満潮面あるいは最低干潮面(津波その他の異常潮位を除く)を1年以上にわたって平均した高さの水面をいう。

(2) 潮流速度の算出

東向き成分流速 u (m/sec), 北向き成分流速 v (m/sec) および合成流速 w (m/sec) を算出する。

$$w = \sqrt{u^2 + v^2} \quad \dots(18)$$

その他: 主なパラメータは表-4のとおりである。

6. 2 潮流計算結果

湾内の流れは次のような特性を持っている。上げ潮時に湾口より流入した流れは西部海域を南流し, 能古島北端沖で東向きとなって湾奥に向かう流れと南流のまま能古島周囲を還流した後, 東向きに転じる流れとなる。北端で東向きとなった流れは, 砂嘴地形の海の中道に沿って最奥の人工島周囲を回流する。一方, 能古島南端から博多港防波堤に沿って流れた潮流は, 湾奥人工島先端付近で合流する。

下げ潮時では, まったく逆の流れとなって湾外へと流れ出る。

海域別の潮流速度算出ポイントの流速変化をみると, 上げ潮時, 下げ潮時において, いずれも湾奥の流速の低下が著しい。高度経済成長期における急速な埋立事業が行なわれた1975年以降30年間で, 下げ潮時の潮流は, 6 cm/sec程度 of 速度低下となった。また, 上げ潮時においては, 7 cm/sec程度 of 速度低下となった(図-13参照)。

なお, 近代的な開発前の1900年から, 現在の2005年までの凡そ105年間における潮流速度の低下は約8~11cm/secである(図-13参照)。

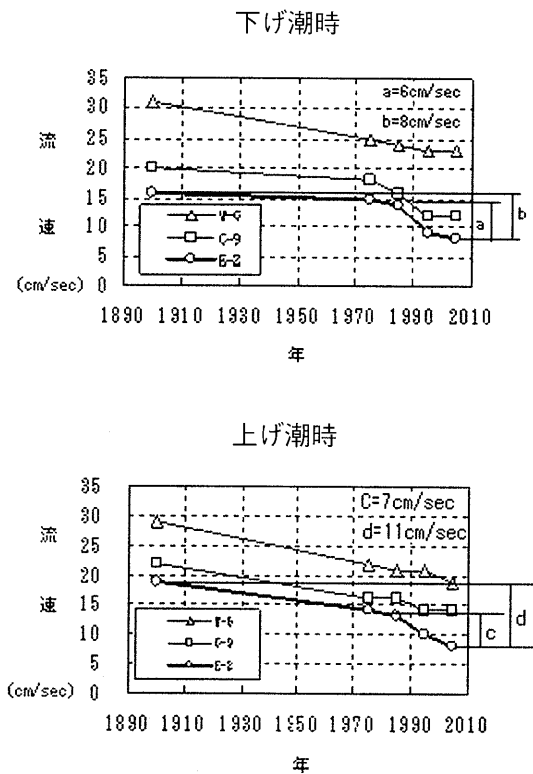


図-13 沿岸開発による潮流速度の変化

7. 海面上昇の影響による潮流の変化

7. 1 計算条件および海面上昇高の予測

海面上昇の影響による潮流の変化を検討する潮流計算のための諸条件は, 沿岸開発による潮流の変化を検討した潮流シミュレーションに準ずる。

博多湾の海面上昇は0.44cm/年(図-5参照)として, 2005年を基準に2025~2150年の海面上昇高を推定した(表-5参照)。

表-5 博多湾の海面上昇の予測

年	上昇高 (cm)	備考
1985	-8.8	東京湾平均海面
2005	0.0	
2025	8.8	
2050	19.8	
2075	30.8	
2100	41.8	
2125	52.8	
2150	63.8	

7. 2 潮流計算結果

潮流速度の算出点は、図-9 に示した■印の格子である。博多湾内の3海域（図-1 参照）において、今世紀末で平均海面が約40cm上昇した場合、下げ潮時における潮流の速度低下は、西部海域で約2 cm/sec（1～4 cm/sec）、中部海域で約4 cm/sec（1～11cm/sec）、湾奥の東部海域で約4 cm/sec（3～4 cm/sec）となっている（図-14参照）。

上げ潮時においては、西部海域で約3 cm/sec（1～4 cm/sec）、中部海域で約4 cm/sec（1～11cm/sec）、東部海域で約4 cm/sec（3～5 cm/sec）の潮流の速度低下となった。

以上、平均海面上昇による潮流速度の低下は、中部海域の一部で著しいが、東部、中部、西部海域ともに3～4 cm/sec程度で湾内の場所による大きな差は見られない（図-15参照）。

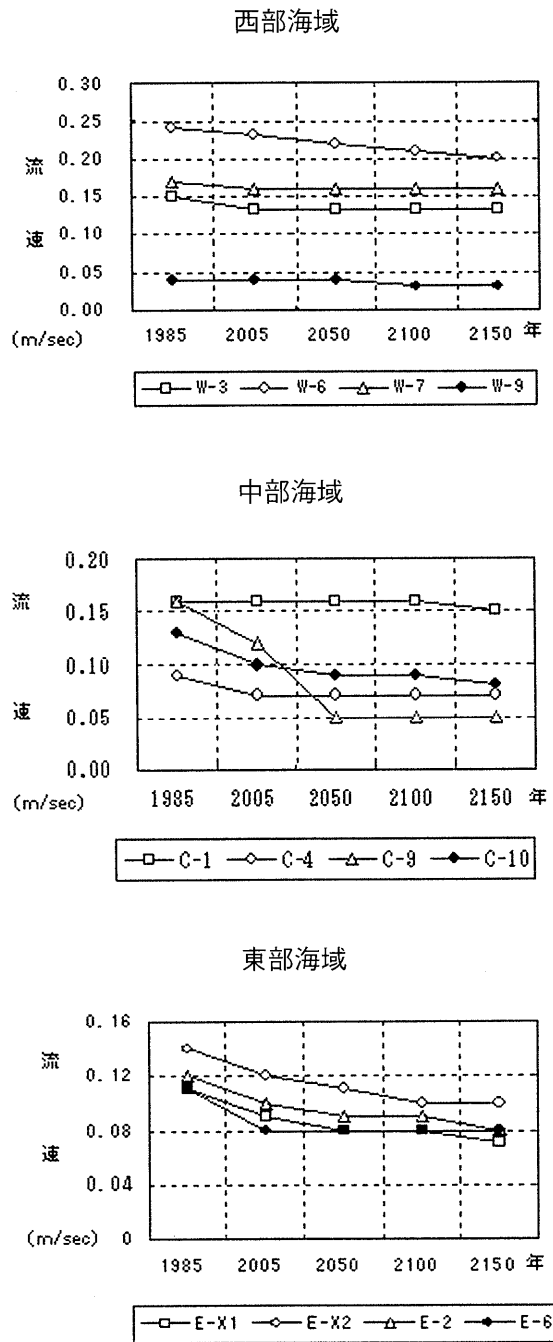


図-14 下げ潮時の潮流速度の変化

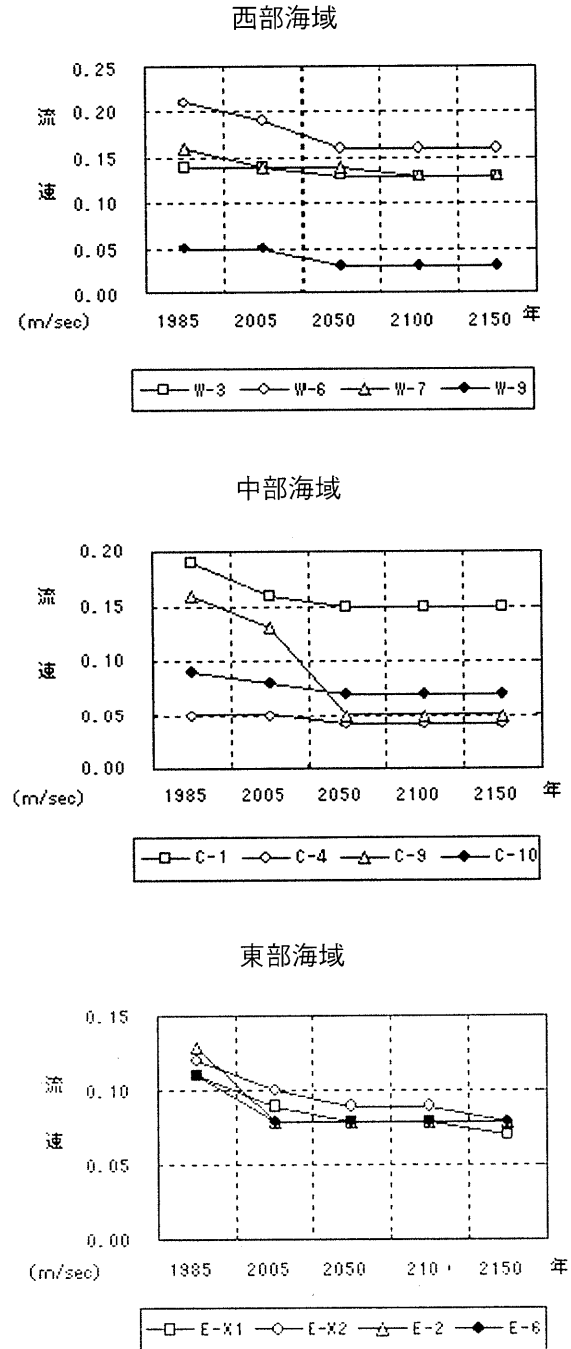


図-15 上げ潮時の潮流速度の変化

8. まとめ

海面の埋立てや浚渫によって、さらに温暖化等による海面上昇が潮汐に影響し潮流速度や潮差に変化をもたらすことが明らかとなった。

博多湾では、1975年以降、湾奥の潮差に約3cmの減少が観測されている。分析においても同様な結果が得られた。

潮流の速度の変化は、沿岸開発による海面埋立てや浚渫などの地形改変で6~7cm/sec程度低下するという結果となった。海面上昇において、今世紀末で3~4cm/secの潮流速度の低下が見込まれる結果を得た。

このため、地形改変と海面上昇による潮流速度の低下は、合わせて9~11cm/sec程度となり、21世紀末には沿岸開発や海面上昇の影響が見られなかった時期に比べ、湾奥の潮流は約50%以下にまで減速することが予測された。

海面埋立てや浚渫による平均水深の変化など地形改変と水環境の悪化の定量的な関係は明らかになっていない。しかし、潮流速度の低下や潮差の減少は、鉛直混合を弱める一方、成層化を促進することとなり、陸域から流入した汚濁物質の拡散や移送範囲を狭める。これは、海域内の汚濁物質の滞留化を促し、水質の悪化により貧酸素水塊²⁸⁾、²⁹⁾や赤潮の発生³⁰⁾をもたらすものと推定される。

博多湾の水環境は、様々な環境保全対策により改善のきざしは見られたが、予想したほどの効果が得られていないのも、海面の埋立てや浚渫等の急速な開発が原因の一つと考えられる。さらに、地球温暖化等による海面の上昇が潮流に変化を与え、水環境の悪化を促進する可能性が高い。

謝 辞

本研究をまとめるにあたり、東亜大学大学院総合学術研究科伊藤猛宏教授には、多くのご指導・ご助言を賜りました。ここに記して深甚なる謝意を表します。

なお、分析にあたって使用した資料は、すべて文献、報告書等で公表されたものであります。

キーワード：沿岸開発, 海面上昇, 潮流速度の変化

参 考 文 献

- 1) 港湾環境創造研究会 (1997) 「よみがえる海辺—環境創造21—」: 2-18
- 2) 環境庁水環境研究会 (1996) 「内湾・内海の水環境」: 2-13
- 3) 宇野木早苗 (2001) 「有明海の豊かな海はどうして悪化したか—諫早湾干拓事業を中心に物理的観点から—」『諫早湾の環境保全報告』
- 4) 佐々木克之 (1999) 『三河湾』: 178-179
- 5) 日本環境学会編集委員会 (2001) 『新・環境科学への扉』: 260-271
- 6) 気象庁 (2007) 「第1作業部会報告政策決定者向け要約」『IPCC第4次評価報告書』: 1-10
- 7) 合田良實 (2000) 「海岸・港湾」『土木学会』: 110-113
- 8) 環境省 (2007) 「気候変動2007」『IPCC第4次評価報告書 環境省資料』(助地球産業文化研究所訳)
- 9) 馬場崎正博 (2006) 「博多湾の現況と環境対策」『第2回博多湾再生市民フォーラム講演要旨集』: 10-13
- 10) 海上保安庁水路部 (1904,2000) 航路図『福岡湾 1/25000』
- 11) 村上政隆 (2004) 「博多湾の変遷」『博多湾フォーラム講演集』: 1-33
- 12) 合田良實 (2000) 「海岸・港湾」『土木学会』: 110-113
- 13) 海岸昇降検知センター (2005) 『観測開始以来の年平均潮位数値表』
- 14) 海岸昇降検知センター編 (2005) 『潮位年報 1968~2006年版』
- 15) 宇野木早苗, 小西達男 (1998) 「埋立てに伴う潮汐, 潮流の減少とそれが物質分布に及ぼす影響」『海の研究』7(1)2: 1-8
- 16) 宇野木早苗, 西條八束 (1999) 『三河湾』: 166-167
- 17) Aoki, K. and Isobe, A. (2006) Numerical Study of the Summer Temperature Decrease Induced by the Enhancement of Estuarine Circulation in Fukuoka Bay, *Journal of Oceanography*, 62(2): 207-217

- 18) 柳哲雄 (2001) 『沿岸海洋学』 : 23-26
- 19) 合田良實 (2000) 「海岸・港湾」 『土木学会』 : 108-109
- 20) 宇野木早苗 (1993) 『沿岸の海洋物理学』 : 120-121, 619-621
- 21) 小林錦子, 大浦洋子 (1997) 『パソコンによる水環境流れ解析』 : 209-213
- 22) 経塚雄策, 古庄建作, 木村洋一郎 (2001) 「諫早湾の潮受け堤防排水門の開放に伴う流動について」 『第16回海洋工学シンポジウム講演集』 : 72-80
- 23) 文屋信太郎・吉村忍 (2006) 「Quasi-bubble-function要素を用いた混合型有限要素法による潮流計算」 『*Transaction of JSCEs Paper*, No. 20060032』
- 24) 日本海洋データセンター (2007) 「潮汐カタログ」 『潮汐観測 (毎時潮高) データ「博多」』
- 25) 博多湾環境整備(株), 福岡市港湾局, 九州大学経塚研究室 (2005) 「地下水を利用する博多湾の水質改善に関するフィージビリティ・スタディ」
- 26) 海上保安庁 (2002) 「平成13年度九州北岸津屋崎南西海域 (観測期間2001年10月)」 『潮流観測報告 (2002.1)』
- 27) 国土交通省博多港湾・空港整備事務所 (2005) 「博多港の概要」 『事務所紹介パンフレット』
- 28) 篠原満寿美 (2002) 「福岡湾における貧酸素水塊の発生状況」 『福岡水研セ報』 12 : 81-87
- 29) 吉岡直樹 (2003) 「福岡湾における夏季貧酸素水塊の消長」 『福岡水研セ報』 13 : 93-101
- 30) 福岡県水産海洋技術センター (2005) 「赤潮調査事業」 『事業報告, 平成6年~14年度版』

Influence of Sea Level Rise and Coastal Development on Tidal Current Change in Hakata Bay

Abstract

The human activities have effected adversely on the environment of the enclosed coastal seas. Increased population and accompanied economic growth have brought more pollution loads to the sea, and consequently the water quality of the enclosed coastal seas has been degraded. Reclamation of sea has often been carried out to meet the increasing economic activities, and has decreased the seaweed beds, tidal flats, and natural beaches. Enclosed coastal seas have always been endangered by human activities.

The following results were obtained by the analysis on Hakata Bay. In recent 30 years, the tidal range was lowered by about 3 cm and the current speed became 6 to 7 cm/sec slower. Environment deterioration and frequent occurrence of red tide were driven by reclamation.

In addition to the above, one of the most serious impacts by global warming is the rise of mean sea level. The rise of mean sea level in Hakata Bay by global warming is forecasted as about 40cm in coming 100 years. As the result, tidal current speed will become 2 to 4 cm/sec slower and this decrease, in turn, will deteriorate the water quality and carry about frequent occurrence of red tide.

At the end of this century, the tidal current speed of eastern sea area in Hakata Bay will be slowed down to 50% or less by coast development and the sea level rise.

Keywords : Coastal Development, Sea Level Rise, Change of Tidal Current