

干潟底泥—海水間の栄養塩フラックスに関する現地観測

児玉真史*・松永信博**・水田健太郎***

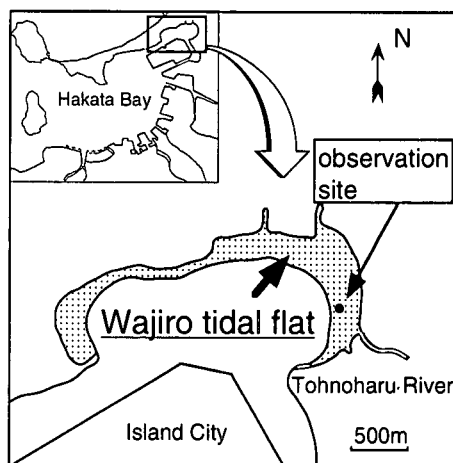
1. はじめに

干潟は潮汐によって冠水と干出を繰り返しており、一潮汐毎に干潟の底泥と海水の間で活発な物質交換が行われている。また干潟上では多様な生態系が形成されている。このため沿岸水域に負荷された栄養塩や有機物は、干潟域に取り込まれ、それらは生物活動を通して系外に持ち出される。このようなプロセスを経て沿岸水域の水質は浄化される。これまでの干潟域での物質交換に関する研究には、実験室において底泥と直上水の変化を調べたものや生態系モデルを用いて干潟の物質収支を見積もったもの（例えば中田・畑, 1994）はいくつかあるものの、干潟での現地観測によって物質収支を観測した例は少ない（例えば佐々木, 1989）。また隣接する海域に対して干潟が物質を除去しているのか、或いは物質の供給源となっているのかは海域によって異なっている（森本, 1993）。さらにその物質交換量も日中と夜間、或いは各季節において大きく異なっていると考えられる。松永ら（1998）は和白干潟において、干潟の熱収支に関する現地観測を行い、干潟における熱環境特性の季節変化について検討している。また児玉・松永（1999）は、干潟域の熱環境特性の岸沖方向の違いが底生藻類の分布を決定する要因の一つになっていることを現地観測を通して明らかにしている。児玉ら（2000）は夏季の和白干潟において栄養塩収支に関する現地観測を行い、夏季の日中と夜間の違いについて検討している。本研究ではこの結果を踏まえ、夏季と冬季のそれぞれ日中と夜間に冠水する場合を対象に、和白干潟における干潟底泥—海水間の物質交換量を見積もり、それぞれの変動特性について検討している。

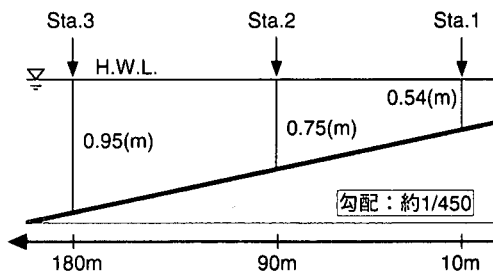
2. 観測概要

(1) 観測地点

本研究で対象とした和白干潟は博多湾東奥部に位置し（図—1）、南側から流れ込んだ唐原川の前方に発達した前



図—1 和白干潟



図—2 観測地点

浜干潟である。和白干潟が接する博多湾は福岡市に面した閉鎖性水域で海水交換の悪い場所であるが、沖合の人工島建設により水質がさらに悪化することが懸念されている。その干出面積は大潮時に最大で 80 ha 程度と比較的小さな干潟であるが、日本海側に面し朝鮮半島に近いという地理的特性から渡り鳥の格好の越冬地・中継地となっている。そのため自然保護の観点からもその価値が注目されている（逸見, 1994）。

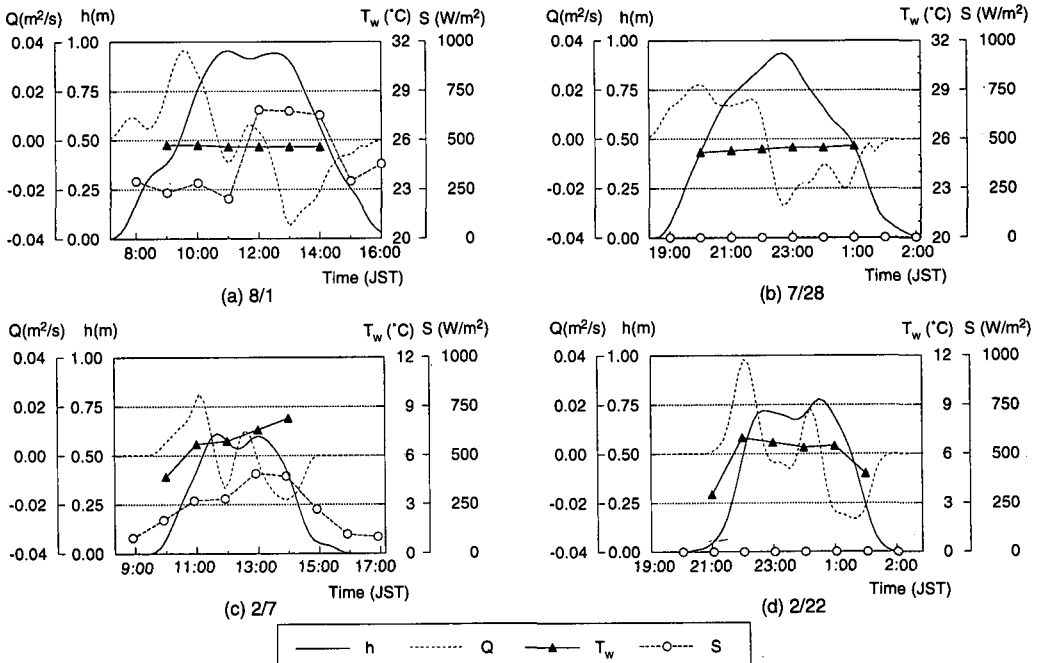
(2) 観測方法

観測地点およびその満潮時の水位を図—2 に示す。観測地点付近の海底勾配は約 450 分の 1 であった。観測は表—1 に示すように、夏季および冬季のそれぞれ日中と

* 学生会員 工修 九州大学大学院総合理工学研究科博士後期課程
** 正会員 工博 九州大学助教授 大学院総合理工学研究科
*** 学生会員 九州大学大学院総合理工学研究科

表-1 観測日一覧

対象条件	観測時間
夏季・日中冠水時	1999年8月1日8:30~14:30
夏季・夜間冠水時	1999年7月28日19:45~同29日1:45
冬季・日中冠水時	2000年2月7日9:00~15:00
冬季・夜間冠水時	2000年2月22日21:00~同23日2:00

図-3 Sta.3における潮位 h , 単位幅当りの流量 Q , 水温 T_w および全天日射量 S の時系列変化

夜間に冠水する場合の計4通り行われた。水質の時間的、空間的变化を捉えるために観測は汀線の最大遡上位置から10 m沖合いの地点Sta.1, 90 mの地点Sta.2, 180 mの地点Sta.3の3点において行われた。3地点とも干潮時には完全に干潟表面は干出する。水質分析に用いた海水は冠水時間帯にわたって1時間毎に各測点の中層から採水された。水質調査の項目は各栄養塩、溶存酸素濃度、塩化物イオン濃度である。栄養塩類の分析には水質分析装置(セントラル科学DR 2010)を用いた。このうち、無機溶存態の栄養塩($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$)の分析には試料水をガラス繊維濾紙(Whatman GF/C)で濾過した濾液が用いられた。溶存酸素濃度は溶存酸素計(東亜電波工業DO-25 A)を用いて採水時に測定された。それぞれの地点において底質の試料を採取し、クロロフィル a を調べることによって底生藻類の現存量調査も併せて行った。またSta.2およびSta.3の潮位は水位計を用いて10分間隔で連続計測された。その時間変化から、(1)式を用いてそれぞれの地点における単位幅当りの潮流流量を評価し、平均流速の時系列を求めた。

$$Q(t) = h(t) \frac{1}{\alpha} \frac{dh}{dt} \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $Q(t)$ は単位幅当りの流量、 $h(t)$ は潮位、 α は干潟の平均勾配である。図-3にそれぞれの観測のSta.3における潮位 $h(\text{m})$, 単位幅当りの流量 $Q(\text{m}^2/\text{s})$, 中層の水温 $T_w(^{\circ}\text{C})$ および全天日射量 $S(\text{W}/\text{m}^2)$ の時系列変化を示す。Sta.3における冠水時間は夏季の観測の方が日中・夜間とも長く、それぞれ約9時間であった。冬季はいずれの観測とも約7時間であった。満潮時の潮位も夏季の観測の方が高くなっている。冠水時間中の水温変動は夏の方が小さく、日射による加熱の影響は冬の方が明瞭に現れている。日射量は8/1の午前中は若干曇りがちであったため、夏にしては日射量が少なくなっているが、夏の最大日射量は冬の倍程度に達している。

3. 栄養塩およびDO濃度の時系列変化

それぞれの観測におけるSta.1, Sta.2およびSta.3での溶存態無機窒素(DIN), リン酸態リン($\text{PO}_4\text{-P}$)およびDO濃度の時系列変化を図-4~図-7に示す、ここで

DIN はアンモニア態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$), 硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$), 亜硝酸態窒素 ($\text{NO}_2\text{-N}$) の合計である。それぞれの平均的な濃度を比較した場合, DIN および DO 濃度は, 夏よりも冬の方が高くなっているのに対し, $\text{PO}_4\text{-P}$ は夏と冬, あるいは日中と夜間を通じて大きな差は見られない。これはこの海域ではリンが常に不足しており, リンが制限栄養塩となっているためであると考えられる。実際, 本観測での和白干潟における DIN/DIP 比は, モル比で夏季に 100~300, 冬季に 500~700 とレッドフィールド比 16 に比べてはるかに大きい。時間変化についてみると, その傾向は夏と冬では大きく異なっている。一般に日中は呼吸よりも, 底生藻類や植物プランクトンによる一次生産が卓越し, 夜には呼吸のみが行われていると考えられる。このため日中は栄養塩が減少, DO が増加し, 夜間には栄養塩が増加し, DO が減少するものと考えられる。夏にはこの傾向を明瞭にみることができるが, 冬の DO については日中の増加および夜間の減少傾向が若干みられるのみで, 栄養塩に関しては顕著な傾向はみられない。これは冬には生物の現存量が少なくその活性も低いため, 水質の時系列変化には生物化学的な現象の影響が小さいためであると考えられる。各水質項目を Sta.ごとと比較すると, 冠水初期には各項目とも岸沖方向に濃度差が存在していることが分かる。例えば夏の DIN (図-4(a)および図-5(a)) に着目してみると, 日中の冠水初期には沖側の Sta.3 よりも岸側の Sta.1 の方が濃度が高いのに対し, 夜間の冠水初期には逆転して Sta.3 の方が高くなっている。このメカニズムとして次のように考えられる。基本的に夜間は栄養塩は放出される傾向にあるため海水中の栄養塩濃度は全体的に上昇する。この時, 底泥からの栄養塩の溶出量が各点で一様であるとすれば, 水深の小さい岸側の方が底泥単位面積が受け持つ水柱の体積が小さいため栄養塩は高濃度となり, 朝方までには図-4(a)の冠水初期のような分布が形成される。その後日中になると底生藻類などの一次生産により栄養塩は干潟底泥に吸収されるが, この時も夜間と同様に底泥単位面積が受け持つ水柱の体積差に加え, 岸側の方が日射の底泥への到達量に依存して一次生産量が多いことから, 栄養塩は岸側で低濃度となり図-5(a)のような分布となると考えられる。一方冬の場合は, 栄養塩については沖側が高濃度, 岸側が低濃度という分布は日中, 夜間を通じて維持されたままである。また DO 濃度は日中に岸側でやや高く, 夜はほぼ一様な分布である。これは冬には, 生物活動が夏ほど活発でなく, 呼吸・分解といった栄養塩を放出し DO を消費する過程よりも, 底生藻類による一次生産が一日を通じて卓越しており, また沖合の水塊の栄養塩濃度が高いために, 夏のような濃度差の逆転が生じないものと考えられる。

4. 干潟底泥-海水間の栄養塩フラックス

次に, 干潟底泥-海水間の栄養塩フラックスについて検討する。干潟底泥-海水間の栄養塩フラックスの算定は桑江ら (1997) と同様に次の方法で行った。まず海水は沖側境界のみから出入りするものと仮定し, (2) 式のように, この点での各時刻の流量 $Q(t)$ および物質濃度 $C(t)$ を上げ潮時間にわたって積分することによって境界内に流入した全物質質量 F_{in} を求める。ここでの物質質量は単位幅当りの量として算定されている。同様にして (3) 式のように, 下げ潮時に境界から流出する全物質質量 F_{out} を求め, これらの量の差を, (4) 式のように, 岸沖方向の距離 L と冠水時間 t で割ることによって干潟底泥-海水間の物質フラックス $F(\text{mg}/\text{m}^2/\text{hr})$ を評価した。

$$F_{in} = \int_{t_1}^{t_2} C(t)Q(t)dt \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$F_{out} = \int_{t_2}^{t_3} C(t)Q(t)dt \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$F = \frac{F_{in} - F_{out}}{L \cdot t} \quad \dots\dots\dots (4)$$

表-2 にそれぞれの観測における DIN, $\text{PO}_4\text{-P}$ および DO の干潟底泥-海水間の交換量を示す。表中で Sta.2, Sta.3 はそれぞれ Sta.2 以浅, Sta.3 以浅の領域での物質フラックスを表している。また符号は干潟に吸収されるものを負と定義している。表-2 より, 冬よりも夏の方が栄養塩, DO ともにフラックスの絶対値は大きくなっている。このため, 日中と夜間の違いは夏の方が顕著で, 夏季の日中冠水時には栄養塩は吸収, DO は放出されているのに対し, 夜間は栄養塩は放出され, DO は吸収(消費)されている。冬の場合はフラックスの値自体が小さいために DO が夏と同様の傾向を示す以外は顕著な傾向は見られない。夏季の物質フラックスを Sta.2 と Sta.3 で比較するといずれの項目も夜間ではあまり差が無いのに対し, 日中の栄養塩の吸収量および DO の放出量は Sta.2 以浅の方が大きくなっている。この理由は底泥に到達する日射量に依存して, 底生藻類の一次生産量に岸沖方向の分布が生じるためであると考えられる。松永ら (1998) は和白干潟において, 水深とアルベドの関係について調べ, 水深の増加にともなってアルベドが小さくなり, 水深が 40 cm 以上ではその値は 0.10 以下でほぼ一定となり, これ以上の深さではほとんどの日射が水中で吸収されることを示している。このように, 水深の深い沖側では底泥に日射が届きにくいから, 底生藻類による一次生産量は小さく, 逆に水深が浅い岸側では底泥まで日射が十分に届くため, 底生藻類による一次生産量が大きくなり, DIN, $\text{PO}_4\text{-P}$ の吸収量および DO の放出量が大きくなるものと考えられる。図-8 は底泥表層付近における

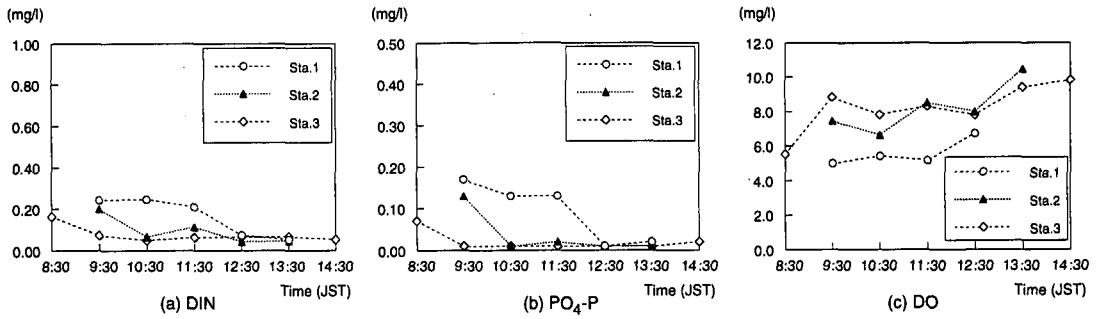
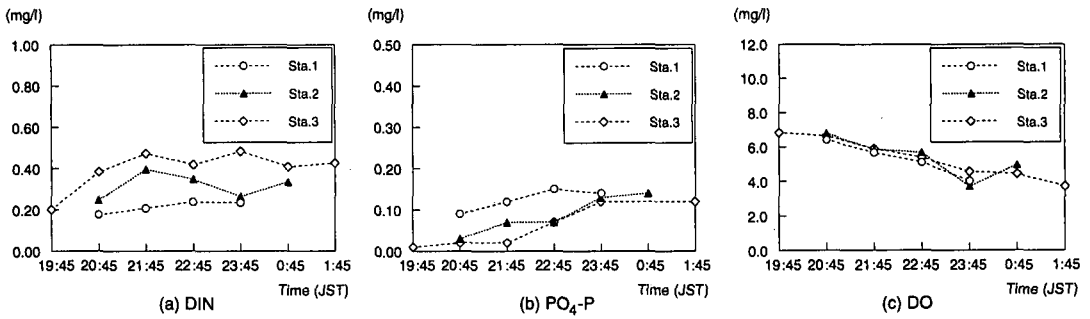
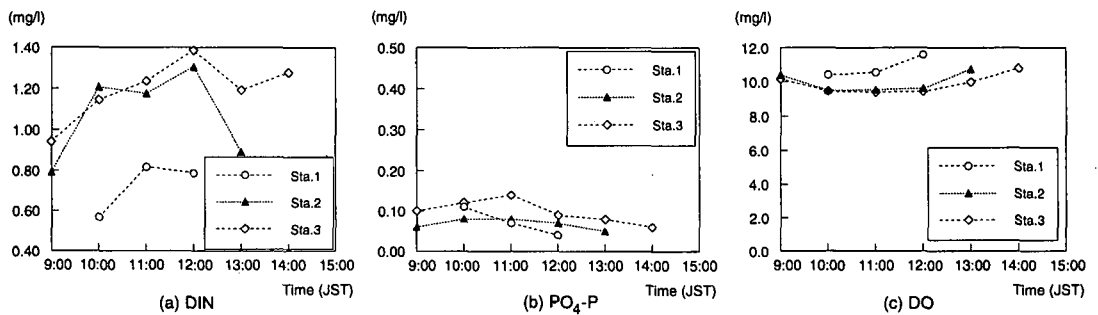
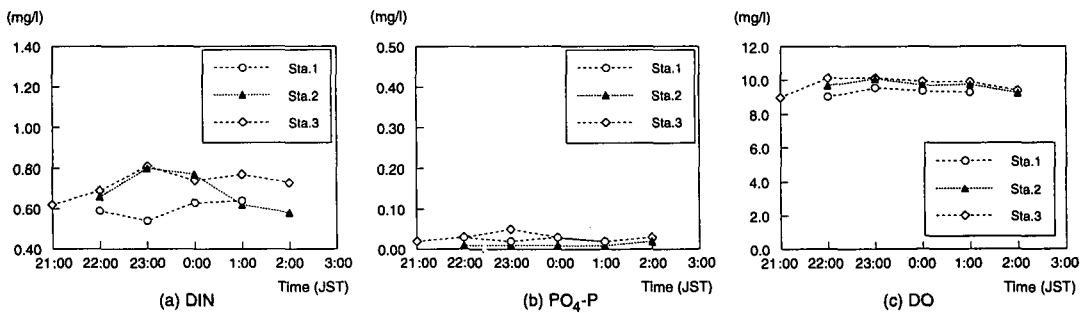
図—4 夏季日中冠水時 (8/1) における DIN, $PO_4\text{-P}$ および DO 濃度の時系列変化図—5 夏季夜間冠水時 (7/28) における DIN, $PO_4\text{-P}$ および DO 濃度の時系列変化図—6 冬季日中冠水時 (2/7) における DIN, $PO_4\text{-P}$ および DO 濃度の時系列変化図—7 冬季夜間冠水時 (2/22) における DIN, $PO_4\text{-P}$ および DO 濃度の時系列変化

表-2 干潟底泥-海水間の物質フラックス (mg/m²/hr)

	Summer				Winter			
	Daytime		Nighttime		Daytime		Nighttime	
	Sta.2	Sta.3	Sta.2	Sta.3	Sta.2	Sta.3	Sta.2	Sta.3
DIN	-18.9	-2.5	2.1	3.4	-2.0	23.4	0.7	18.0
PO ₄ -P	-11.5	0.6	9.2	17.1	1.4	-5.3	0.2	-1.5
DO	723	180	-314	-293	41.2	75.1	16.8	-107

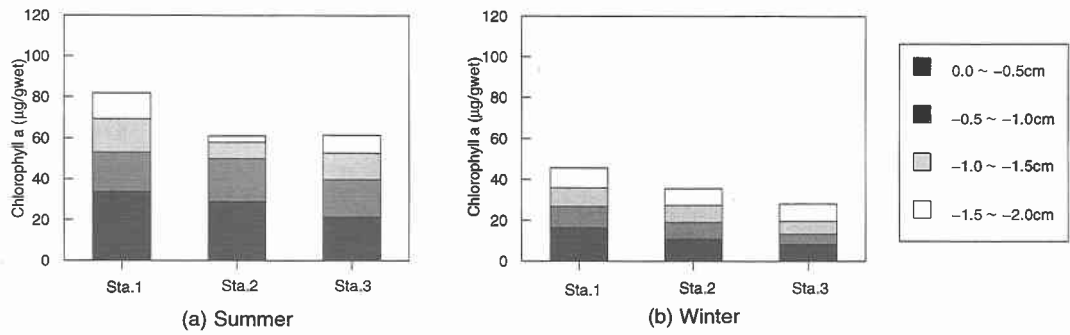


図-8 各測点における底泥表層付近の Chlorophyll a の鉛直分布

クロロフィル a の鉛直分布を示したものである。クロロフィル a の値は日中と夜間において得られた値の平均値を示している。夏のクロロフィル a の現存量は、いずれの測点においても冬の倍程度と圧倒的に大きい。夏季の底生生物の現存量も底生藻類に比例して大きいと考えられることから、夏には様々な生物の活動により、干潟底泥-海水間では活発な物質交換が行われているものと考えられる。

5. おわりに

干潟において干潟底泥-海水間の栄養塩フラックスに関する現地観測を行った結果、以下のことが明らかになった。

干潟域では海水中の栄養塩および DO 濃度に関して岸沖方向に濃度差が存在している。この濃度差は岸側と沖側で底泥単位面積が受け持つ水柱の体積に差があることにより生じているものと考えられる。

干潟底泥-海水間の栄養塩フラックスの絶対値は冬よりも夏の方が栄養塩、DO とともに大きくなっている。このため、日中と夜間の違いは夏の方が顕著で、夏の日中冠水時には栄養塩は吸収、DO は放出されており、夜間には栄養塩は放出、DO は吸収 (消費) されている。また夏季日中の岸沖方向では物質フラックスに大きな差がある。これは水深に依存した底泥への日射の到達量の差によ

り、底生藻類の一次生産量に岸沖方向の分布が生じているためであると考えられる。

本研究では海水は岸沖方向のみに出入りすると仮定し、一次元的な取り扱いで干潟底泥-海水間の物質フラックスの評価を行った。しかしながら実際の現象は二次元あるいは三次元的であることも考えられることから、今後は数値シミュレーション等によってこれらの結果を検証する必要があると思われる。

参 考 文 献

桑江朝比呂, 細川恭史, 江口菜穂子 (1997): 夏季の盤洲干潟における直上水の潮汐に伴う変化, 日本海洋学会春季研究発表会講演概要集, p. 205.
児玉真史, 松永信博 (1999): 冬季干潟における熱環境特性と底生藻類の分布, 海岸工学論文集, 第 46 巻, pp. 1126-1130.
児玉真史, 松永信博, 水田健太郎 (2000): 夏季の和白干潟における栄養塩収支に関する現地観測, 水工学論文集, 第 44 巻, pp. 1095-1100.
佐々木克之 (1989): 干潟の物質循環, 沿岸海洋研究ノート, 第 26 巻, 第 2 号, pp. 172-190.
中田喜三郎, 畑恭子 (1994): 沿岸干潟における浄化機能の評価, 水環境学会誌, 第 17 巻, 第 3 号, pp. 158-166.
逸見泰久 (1994): 和白干潟の生き物たち, 海鳥社, p. 195.
松永信博, 児玉真史, 杉原裕司, 福田和代 (1998): 干潟における熱収支の観測, 海岸工学論文集, 第 45 巻, pp. 1056-1160.
森本研吾 (1993): 潮間帯の物質収支と水循環, 沿岸海洋研究ノート, 第 30 巻, 第 2 号, pp.208-223.