

英虞湾の浚渫ヘドロを用いた人工干潟における潮汐に伴う 水質変動の連続観測

国分秀樹¹・奥村宏征²・高山百合子³
湯浅城之⁴・上野成三⁵

著者らのグループは、浚渫ヘドロの含有する豊富な有機物を干潟生態系への栄養供給材料として利用できるという観点から、2004 年 3 月に英虞湾において約 3,000m²の人工干潟を造成し、底生生物及び底質の調査を行ってきた。昨年度までの研究成果としては、干潟生態系に最適な底質の有機物量と粒度、地盤高条件を明らかにし、干潟造成材に浚渫ヘドロを利用する際の混合率の設定方法を取りまとめた。本論文では、造成干潟域の周囲をシートで囲うことにより、干潟域に流入・流出する水質の変化について 2 潮汐間にわたり定量的に連続観測し、人工干潟の特性および干潟に流入出する物質のフラックスについて検討した。その結果、浚渫ヘドロを用いた人工干潟の特性として、懸濁態有機物に対してシンクであり、溶存態無機栄養塩に対してはソースとして機能していることが明らかとなった。

1. はじめに

英虞湾では、近年底質の富栄養化の進行が貧酸素水塊の形成や底生生物相の単相化をひき起し、海域の生産力を大きく低下させている。この原因の一つとして、干潟・藻場を含む浅場海域の減少による物質循環の停滞が考えられる。英虞湾では、50 年間で約 70 % の干潟が干拓等によって失われたことが、明らかになった。そこで著者らのグループは、浚渫ヘドロの含有する豊富な有機物を干潟生態系への栄養供給材料として利用できるという観点から、2004 年 1 月に英虞湾において約 3,000 m²の人工干潟を造成し、底生生物及び底質の調査を行ってきた。昨年度までの研究成果として、干潟生態系に最適な底質の有機物量と粒度、地盤高条件を明らかにし、干潟造成材に浚渫ヘドロを利用する際の混合率の設定方法を取りまとめた。(上野ら 2001, 2002, 国分ら 2004, 2005)

今後、浚渫ヘドロを用いた人工干潟を事業化へ展開する際には、人工干潟の特性を詳細に把握し、環境への効果を適切に評価する必要がある。本論文では、造成干潟域の周囲をシートで囲うことにより、そこに流入・流出する水質の変化について 2 潮汐間にわたり定量的に連続観測し、人工干潟の特性および干潟に流入出する物質のフラックスについて検討したので報告する。

2. 現地実験方法

(1) 対象人工干潟の概要

対象とする人工干潟は、昨年度までの成果をもとに、干潟生態系に最適な底質の有機物量と粒度、地盤高条件

になるように英虞湾内の浚渫ヘドロを用いて造成した干潟である。干潟造成は 2004 年 3 月に三重県英虞湾立神浦において行った(片倉ら 2004)。面積は 3,000 m²、地盤高が DL+1.2 m ~ -0.8 m のエリアで勾配は 1/25、底質は表層から 1 m の深さまで COD が 5.6 mg/g-dry、粘土・シルト含有量が 39.2 % に設定しており、河川等の流入がない前浜泥質干潟である。本人工干潟は実験開始時に造成後約 1 年半経過しており、生息するマクロベントスの個体数、種類数とともに造成前の干潟の 3 倍以上に増加し、底生生物相も安定した干潟である。人工干潟造成場所の地形図を図-1 に示した。

(2) 観測概要

上記人工干潟について、底生生物の豊富な DL 0 m ~ -1.5 m を含む人工干潟全域と、前述の水深域を含まない DL 0 m 以浅域の 2 区画に分けて、それぞれ海水の出入り口を 1 カ所になるようにポリエチレン製のシートで囲い、そこから流入出する水質の経時的な変動を出入り口に設置した調査地点において 2 潮汐間、1 時間ごとに観測した。観測は、夏(2005 年 7 月 21~22 日, 2005 年 8 月 4~5 日), 秋(2005 年 10 月 13~14 日, 2005

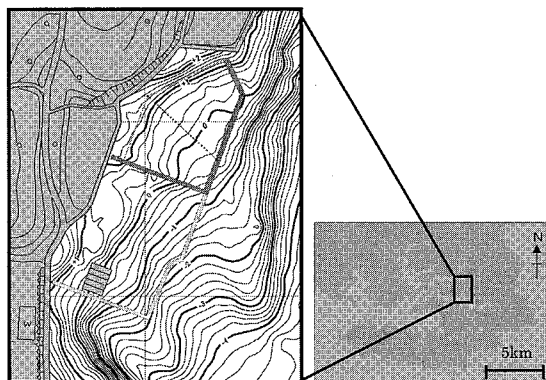


図-1 人工干潟造成場所と調査エリア

1 理修 三重県科学技術振興センター水産研究部
2 生修 三重県科学技術振興センター水産研究部
3 正会員 大成建設技術センター土木技術研究所
4 正会員 財団法人三重県産業支援センター
5 正会員 工修 大成建設技術センター土木技術研究所

年11月2~3日),冬(2006年1月26~27日,2006年2月16~17日)の各季節にそれぞれ2回ずつ行った。各観測は大潮の晴天時に行った。それぞれの調査地点を図-2に示した。観測時は手こぎボートにてシート開口部に接近し,多項目水質分析計(アレック社製:AAQ1183)を用いて,溶存酸素(以下DO),塩分,濁度,pHの鉛直分布を観測した。また同時に内径3cmのホースを用いて,干潟底泥直上から,海水表面までの水柱を採取し,十分混合した後,分析試料とした。水温,水深(STS社製:MC1100WT),光量子量(ライカ社製:LI-1400)についてはメモリ式の観測機器を現場に設置して10分間隔で測定した。採水したサンプルは,採水後現場で速やかに濾過し,冷蔵保存した後,SS,クロロフィルa(吸光法),TOC,DOC,TN,DTN(島津社製:TOC-V_{CPH}),TP,DTP,DIN,DIP(BRAN LUEBBE社製:TRAACS2000)について分析した。

(3) 底泥直上水間の栄養塩フラックス調査

人工干潟底泥からの無機栄養塩の収支を把握するために,水質観測と併せて現場実験を行った。内径88mm,長さ30cmのアクリルコアを図-2に示したようにDL+0.5mとDL-0.5mの地点に深さ15cmまで各4本設置し,最大潮位で設置,最低潮位で回収した下げ潮時と,最低潮位で設置,最高潮位で回収した上げ潮時にそれぞれ現場で培養した。培養開始時にはコア周辺の海水を採取しサンプルとした。培養後は直上水を底泥の巻き上げないように採取し,均一に混合した後,サンプルとした。採取したサンプルは速やかに濾過した後,冷蔵保存し,無機栄養塩(DIN,DIP)を分析した。開始時と培養終了後の直上水濃度の差から,底泥からの無機栄養塩(DIN,DIP)の溶出速度を算出した。また最大満潮時と最低干潮時にコア設置場所付近の干潟底質の柱

状採泥を行い,表層より1cmを切り取り,速やかに実験室に持ち帰り,遠心分離器(2,500rpm,20min)により間隙水を分離し,濾過後間隙水中の無機栄養塩(DIN,DIP)を分析した。

3. 現地実験の結果・考察

(1) 水質の時系列変化

人工干潟に流入出する水質の昼夜変動を把握するために2005年7月21日から22日の夏期と2006年1月26日から27日の冬季の連続観測について,水中の光量子量,栄養塩濃度,クロロフィルa濃度,DO,水深,水温,濁度の変化を調べた(図-3(a),(b),(c),(d),図-4(a),(b),(c),(d))。観測中は夏期冬期ともに朝と夕方に満潮,昼と夜中に干潮となる潮汐パターンであった。DOは上げ潮時に上昇し満潮時に最大となり,下げ潮時に減少し干潮時に最小値となる潮汐と連動した周期的な変動を示した。これは沖合の高いDOの水が干潟に流入し,干潟場の低いDOの水が沖合へ流出していることを示す。つまり人工干潟上では,ベントス等の呼吸と人工干潟底質中に豊富に含まれる有機物がバクテリア等によって分解され,酸素消費が盛んに行われていることが考えられる。このことは国分ら(2006)のチャンパーを用いた干潟底泥の酸素消費速度の既往の報告とも一致し,バクテリアを含む底生生物の呼吸が1次生産速度を上回っていることを示している。

濁度については干潮時付近で高い値を示した。これは底泥の巻き上げによるものであると考えられる。また,クロロフィルa濃度は,特に夜間の下げ潮時に減少,夜間の上げ潮時に増加する傾向を示した。これらの結果から,上げ潮時に多量に植物プランクトンを含む海水が沖から流入し,干潟上のベントス等により摂食されて減少していることが推測できる。

無機栄養塩濃度(DIN,DIP)の変動は,上げ潮時に減少し,下げ潮時に増加する傾向であった。これは上げ潮時に沖側からの低濃度の水が流入することと,下げ潮時に干潟底泥から溶出した無機栄養塩によって高濃度になった水が流出することが原因であると考えられる。さらにこの傾向はDOの変化パターンとは逆位相になることから,ベントスやバクテリアの活動による流入懸濁物の無機化と,干潟底質中の有機物の分解による無機栄養塩の溶出が原因として考えられる。

また,夏期と冬期では水質変化傾向は類似しているが栄養塩濃度,クロロフィルa濃度,DO変化量,濁度は冬期の方が低い値を示した。水温と日射量の低下のため,干潟上の生物活性が低下していることが考えられる。

(2) 底泥直上水間の栄養塩溶出フラックスの変化

現場コア培養実験の結果から整理した,夏期冬期の底

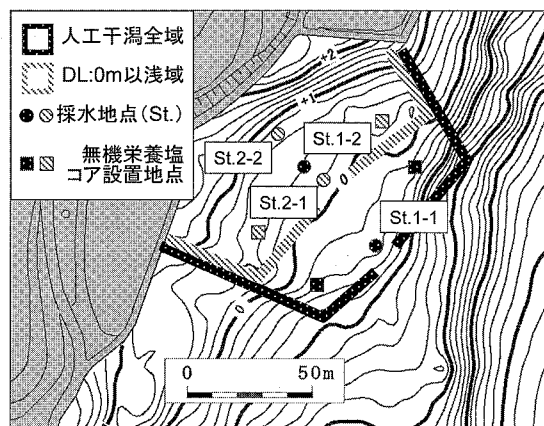


図-2 連続観測調査地点図

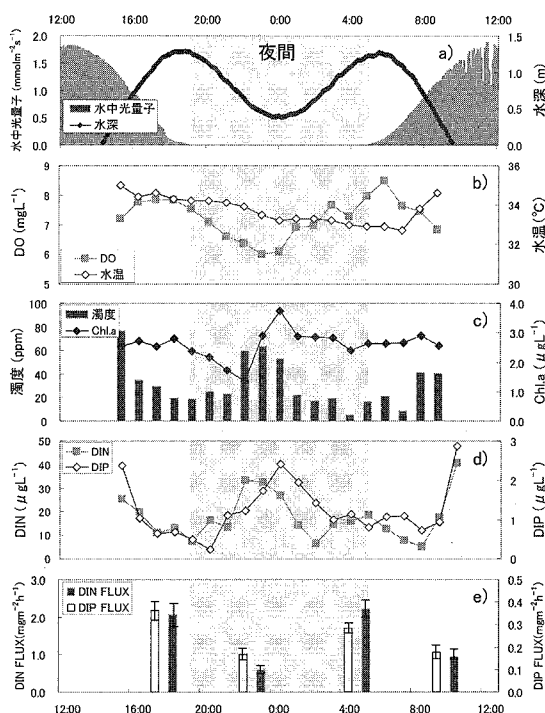


図-3 人工干潟(St.2-1)における、下げ潮、上げ潮時の水質の変化 (a)光量子、水深、(b)DO、水温、(c)濁度、Chl.a、(d)DIN、DIP、(e)底泥直上水間 DIN、DIP フラックス (2005年7月21日)

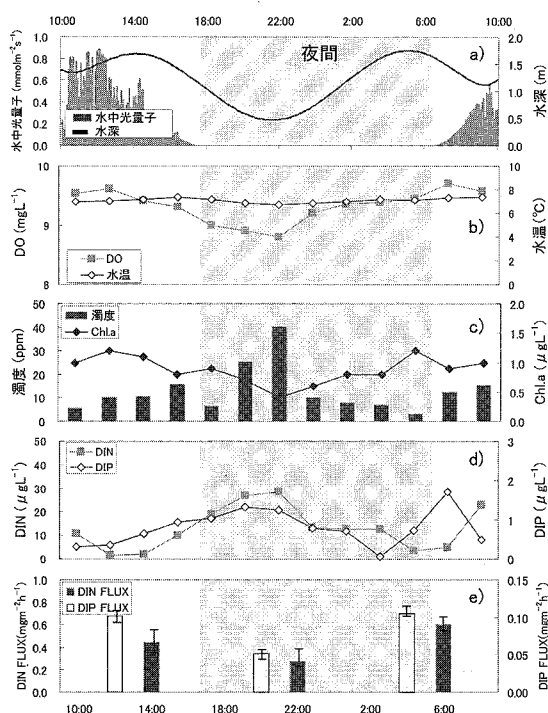


図-4 人工干潟(St.2-1)における、下げ潮、上げ潮時の水質の変化 (a)光量子、水深、(b)DO、水温、(c)濁度、Chl.a、(d)DIN、DIP、(e)底泥直上水間 DIN、DIP フラックス (2006年1月26日)

泥からの無機栄養塩の溶出フラックスを図-3(e)、図-4(e)に、各季節の無機栄養塩の溶出速度を表-1に示した。さらに、最大満潮時と最低干潮時のコア設置場所付近の干潟底質表層の間隙水の濃度を表-1に示した。無機栄養塩の溶出フラックスは水温の高い夏期には高く、水温の低い冬期には低くなり、すべての季節で底泥から直上水方向への溶出がおきた。また、間隙水中および溶出する DIN はほとんどがアンモニア態窒素であった。これは、人工干潟が豊富な有機物を含むため、バクテリア等による有機物の分解や、底生生態系の排泄による底泥からの無機栄養塩の溶出が、常に一次生産による無機栄養塩の吸収を上回っていることを示している。また上げ潮時の方が下げ潮時より溶出フラックスは高くなり、さらに間隙水中の無機栄養塩の濃度も干潮時の方が満潮時よりも高い傾向を示した。このことは干出時に底質中の有機物等の分解により間隙水中に蓄積された高濃度の無機栄養塩が、上げ潮の冠水時の濃度勾配により急激に溶出するためであると考えられる。また昼間と夜間の間隙水中の無機栄養塩濃度および溶出フラックスについては、両方とも夜間の方が昼間よりも高い値を示した。これは昼間に付着性の底生微細藻類等の光合成により、間隙水中に蓄積された無機栄養塩を吸収していることが原因と

して考えられ、その結果、底泥から直上水への溶出フラックスも低下していることが推測できる。

(3) 人工干潟に流入出する物質のフラックスの算定

シートにより囲まれたエリアの水塊が潮汐によりどれくらいの割合で開口部より流入出しているかを調べるために、2005年7月21日に図-2中 St. 2-2 で毎時実測した流速から算出した2潮汐間の人工干潟域への実測水量と潮位観測から算出した推算水量の変化との関係を図-5に示した。その結果、約91%の海水がシート開口部より流入出しており、両者は良く一致していることが明らかになった。

上記の結果より、人工干潟には海水の出入り口となる図-2中の St. 1-1、St. 2-1 を経由して流入出するものとし、連続的に観測した水質データを用いて、上げ潮時と下げ潮時に流入出する窒素、リン、クロロフィル a のフラックスを時間的に積分して物質量を求め、それを干潟面積と経過時間で除することで、各季節の2潮汐間の流入出フラックスを算出した(表-2)。負の値は干潟への吸収、正の値は干潟からの放出を意味する。

各季節に共通する特徴として、懸濁有機態の窒素・リン・クロロフィル a については、常に人工干潟に吸収されているのに対して、溶存無機態の窒素・リンについて

は、常に人工干潟から放出される傾向であった。これは、光合成等により植物プランクトン等の懸濁態の有機物濃度の高くなった沖合の水が、上げ潮とともに人工干潟に流入し、懸濁物食者等の底生生物によって取り込まれることにより水中から除去されたと推測できる。また無機栄養塩については、前述した溶出速度や間隙水中の無機栄養塩の濃度変化からもわかるように、底生生物からの排泄や人工干潟底質中に豊富に含まれる有機物のバクテリア等による分解により、干潟から沖合へ放出されていることが考えられる。また上記の傾向は野村ら (2002) が千葉県盤洲干潟で行った既往の報告例とも一致した。しかしフラックスの値は、盤洲干潟の3分の1程度であった。これは、盤洲干潟がアサリ等の二枚貝類のような懸濁物食性の底生生物が卓越しているのに対し、本人工干潟では、懸濁物食性生物は優占種ではなく、盤洲干潟と比べて、甲殻類や腹足類のような表層堆積物食性生物の割合が多いことが一つの原因であると考えられる。

シートにより囲うエリアの異なる人工干潟について、各季節の2潮汐間の流入出フラックスを算出した結果、すべての季節において人工干潟全域を囲ったエリアのフラックスの方が、人工干潟のDL 0 m以浅を囲ったエリアのフラックスよりも大きくなった。これは、国分ら (2003)、上野ら (2004)、矢持ら (2003) の既往の報告

によりDL 0 m～1.5 mで底生生物のバイオマスと種類数共に最大となることから、この水深帯を含む人工干潟全域の方が、流入出する直上水に対する底生生物の影響が大きくなり、懸濁態有機物の摂餌による取り込みと溶存態無機栄養塩の排泄等による放出量が大きくなったためであると考えられる。このように底生生物は干潟の物質循環に大きく寄与することが明らかになった。

4. 結 論

本研究の主要な結論を以下に示す。

- ①干潟に流入出する水質の2潮汐間の連続観測の結果、沖合の高いDOの水が干潟に流入し、干潟の底生生物や有機物分解に消費されDOの低くなった水が沖合へ流出していることがわかった。また無機栄養塩濃度(DIN, DIP)は沖合から流入した低濃度の水が干潟上で底生生物等の活動や有機物の分解によりにより高濃度となり、沖合へ放出するというDOと逆の変動となることがわかった。
- ②干出時に底質中の有機物等の分解により間隙水中に蓄積された高濃度の無機栄養塩が、冠水時に急激に溶出するために、干潟底泥直上水間の無機栄養塩溶出速度は、上げ潮時に高くなることが明らかになった。また、昼夜の間隙水中の栄養塩の調査の結果、昼間には底生

表-1 人工干潟底泥から直上水への無機栄養塩溶出速度と底泥間隙水の無機栄養塩濃度

		溶出速度 ($\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{h}$)				間隙水濃度 ($\mu\text{mol}/\text{L}$)			
		昼 間		夜 間		昼 間		夜 間	
		DIN	DIP	DIN	DIP	DIN	DIP	DIN	DIP
21. JUL	上げ潮	147	11.7	158	9.12	干潮時	102	1.53	222
	下げ潮	67.1	5.70	43.1	5.36	満潮時	45.4	1.41	51.4
05. AUG	上げ潮	108	5.36	118	3.24	干潮時	70.2	0.54	113
	下げ潮	39.3	1.23	78.8	2.18	満潮時	48.9	0.61	56.5
13. OCT	上げ潮	54.9	7.37	73.5	7.85	干潮時	20.4	0.42	65.3
	下げ潮	23.1	0.86	31.8	2.14	満潮時	12.4	0.25	18.4
02. NOV	上げ潮	38.9	3.89	43.1	3.64	干潮時	48.1	0.93	91.6
	下げ潮	8.44	1.89	13.7	1.79	満潮時	17.9	0.25	32.3
26. JAN	上げ潮	31.8	3.29	43.1	3.39	干潮時	—	—	12.3
	下げ潮	—	—	19.8	1.67	満潮時	9.79	0.33	11.4
16. FEB	上げ潮	15.2	1.19	43.1	3.39	干潮時	15.7	0.37	21.5
	下げ潮	—	—	19.8	1.67	満潮時	—	—	7.33

表-2 2潮汐間の人工干潟における流入流出フラックス(負の値は干潟への吸収)

観測日	計算時間	TN	DIN	PON	TP	PO4-P	POP	Chl. a	
21. JUL	15:00-09:00	44.4	15.4	-52.2	-8.44	0.83	-1.67	-12.4	DL:0 m以浅
04. AUG	13:00-10:00	-97.5	110	-109	4.95	7.62	-7.67	-23.1	人工干潟全体
13. OCT	15:00-09:00	-55.0	13.8	-39.4	-2.00	1.44	-2.72	-10.3	DL:0 m以浅
02. NOV	13:00-10:00	-60.9	30.9	-107	-4.71	6.14	-4.81	-14.2	人工干潟全体
26. JAN	11:00-09:00	-38.2	3.41	-27.2	-0.18	0.55	-0.82	-2.36	DL:0 m以浅
16. FEB	11:00-05:00	-69.3	5.83	-41.3	-1.50	1.39	-5.78	-5.67	人工干潟全体

単位: Chl. a: $\text{mgm}^{-2}\text{h}^{-1}$, それ以外: $\mu\text{molm}^{-2}\text{h}^{-1}$.

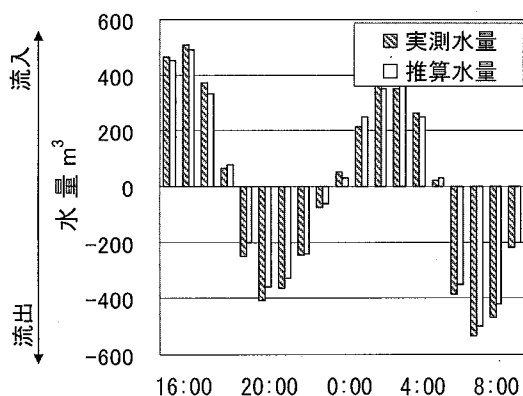


図-5 潮位変動から推算した推算水量とシート開口部を通過する実測水量との関係

微細藻類等が光合成を行うことにより、間隙水中に蓄積された無機栄養塩を吸収していることがわかった。

- ③各季節の2潮汐間の窒素、リン、クロロフィルaの収支を解析した結果、季節を問わず、懸濁態窒素・リンは沖合から干潟へ流入、無機態窒素・リンは干潟から流出する特性が明らかになった。また、干潟の物質循環において底生生物の寄与が大きいことがわかった。

以上より、本論文では、造成干潟域の周囲をシートで囲うことにより、そこに流入・流出する水質の変化について2潮汐間にわたり定量的に連続観測し、人工干潟の季節変動、昼夜変動特性および干潟に流入する物質のフラックスについてとりまとめた。その結果、浚渫ヘドロを用いた人工干潟の特性として、懸濁態有機物に対してシンクであり、溶存態無機栄養塩に対してはソースとして機能していることが明らかとなった。

謝辞：本研究は三重県・大成建設の共同研究、および、

三重県地域結集型共同研究事業の一部で実施された。また、現地実験にあたり、英虞湾再生コンソーシアム、立神真珠研究会、志摩の国漁業協同組合立神支所、志摩市、芙蓉海洋開発㈱から多大な協力を得た。ここに謝意を表す。

参考文献

- 上野成三・高橋正昭・原条誠也・高山百合子・国分秀樹(2001)：浚渫ヘドロを利用した資源循環型人工干潟の造成実験，海岸工学論文集，第48巻，pp.1306-1310。
- 上野成三・高橋正昭・高山百合子・国分秀樹(2002)：浚渫土を用いた干潟再生実験における浚渫土混合率と底生生物との関係について，海岸工学論文集，第49巻，pp.1301-1305。
- 上野成三・高山百合子・湯浅城之(2004)：人工干潟の設計資料として整理した三番瀬干潟における底生生物の出現特性，海岸工学論文集，第51巻，pp.1006-1010。
- 片倉徳男・高山百合子・上野成三・小林峯男・国分秀樹・奥田圭一(2004)：浚渫ヘドロを用いた干潟再生工法におけるヘドロ混合の設計・施工計画，海洋開発論文集，第30巻，pp.885-890。
- 国分秀樹・奥村宏征・上野成三・高山百合子・湯浅城之(2004)：英虞湾における浚渫ヘドロを用いた干潟造成実験から得られた干潟底質の最適条件，海岸工学論文集，第51巻，pp.1191-1195。
- 国分秀樹・奥村宏征・上野成三・高山百合子・湯浅城之(2005)：英虞湾における浚渫ヘドロを用いた大規模造成干潟の底質と底生生物の特性について，海岸工学論文集，第52巻，pp.1196-1200。
- 国分秀樹・奥村宏征・上野成三・高山百合子・湯浅城之(2006)：酸素消費速度からみた浚渫ヘドロを用いた人工干潟の生産力の検討，第40回日本水環境学会要旨集，第40巻，pp.185。
- 野村宗弘・小沼晋・桑江朝比呂・三好英一・中村由行(2002)：盤洲干潟における潮汐に伴う栄養塩収支に関する現地観測，港湾空港技術研究所試料，No.1020，pp.1-19。
- 矢持進・平井研・藤原俊介(2003)：富栄養浅海域における生態系の創出—人工干潟現地実験場での生物と窒素収支の変遷，海岸工学論文集，第50巻，pp.1246-1250。