

## 中部空港島周辺における海域底泥中の鉄及び マンガン濃度の分布から見た浅海域の環境変化

横山亜希子<sup>1)</sup>・梅村麻希<sup>1)</sup>・八木明彦<sup>1)</sup>

### Change of iron and manganese in the bottom sediments of the surrounding sea area for the Chubu Airport Island

Akiko YOKOYAMA<sup>1)</sup>, Maki UMEMURA<sup>1)</sup> and Akihiko YAGI<sup>1)</sup>

#### 摘 要

中部国際空港島が伊勢湾東部の浅海域に建設された。2000年8月から護岸工事が始まり、2005年2月に中部国際空港セントレアが開港となった。この周辺海域底泥の酸化還元状態を確認し、海域環境を明らかにするため2003年7月から2008年7月までに7～8地点の底泥柱状試料を採取し、鉄、マンガン(岩石などの一次鉱物や粘土・シルトなどに含まれる鉄、マンガンを除く)を定量した。底泥中の鉄、マンガンの濃度分布から一定の経年変化は認められなかったが、浅海域底泥が極浅海域底泥よりこれらを多く保持していたことが確認された。浅海域底泥に硫化水素臭と硫化鉄の存在が確認されたことから硫酸還元に至る還元的環境が形成されていることが考えられた。極浅海域では干潟のように攪乱があるので底泥汚濁は浅海域ほど進行していないことが示唆された。

キーワード：中部国際空港島周辺海域、海域底泥柱状試料、酸化還元、底泥間隙水、鉄・マンガン

(2008年9月19日受付；2009年3月12日受理)

#### はじめに

日本海洋学会海洋環境問題委員会(1999)は、中部国際空港島建設に伴い、周辺浅海域は空港島と前島による潮流の遮蔽が原因となって環境の悪化が予測されると推定した。事業者が事前に行なった海水の貧酸素化に関するシミュレーションでは、空港島周辺の流れの停滞域でDOが減少することが予測され(岐阜県・愛知県・三重県・財団法人中部空港調査会, 1997)、西條ら(2008)は空港島建設後の調査結果が予測と良く合致すると報告した。また、事業者が行った恒流のシミュレーションでは、空港島水道にビル風に相当する南下流が生じ、下層水がこれに取り込まれ、空港島水道にエスチャリー循環に似た流れの場が形成されることが示されている(中部国際空港株式会社・愛知県, 1998)。このような流れの場では、下層水に含まれる多量の栄養塩が上層に回帰するので、特に夏季の小潮で潮流が停滞し成層構造が発達するような時期には、上層に強度の赤潮、底層に貧酸素が発生する(Matsukawa and Suzuki, 1985)。西條ら(2008)は周辺浅海域の貧酸素水塊

は空港島と前島の遮蔽効果による潮流の減少によって形成されるようになったものと判断した。

本研究では、水域環境の酸化還元状態により存在形態が異なる鉄とマンガンの底泥および底泥間隙水中の鉛直分布について調べた。鉄とマンガンの酸化還元電位はマンガンが僅かに高いために、水中や底泥間隙水中ではMn(IV)が深度の浅い層で、先ず、懸濁態として集積し、Fe(III)はその層の下部で懸濁物として集積する(Stumm and Morgan, 1981)。どちらも硫化水素の存在する還元的環境ではFe(II)、Mn(II)となって溶解あるいは硫化物となって沈殿物を形成している。そこで、底泥中の鉄・マンガン、底泥間隙水中の鉄・マンガン、間隙水を取り出した残泥(固相)の鉄・マンガンの鉛直分布を調べることで、底泥および底泥間隙水中の酸化還元状態あるいは直上水の貧酸素化状況を求めることとした。

<sup>1)</sup> 〒470-0392 愛知県豊田市八草町八千草1247 愛知工業大学大学院工学研究科 Graduate School of Engineering, Aichi Institute of Technology, Yachigusa 1247, Yakusa-cho, Toyota, Aichi 470-0392, Japan  
(連絡著者 横山亜希子 E-mail: yokoyamachoco@gmail.com)

## 方法

観測時期は2003年7月、10月、2004年7月、2005年7月、2007年4月、7月及び2008年7月の7回、図1に示す7～8地点で定点調査を実施した。すなわち、空港島の東側、南側及び北側の水深5m前後の極浅海域をA地点とし、A1(水深4m)、A2(3m)、A3(5m)、A4(7m)、A5(6m)、空港島水道の水深10m程度の浅海域をB地点とし、B1(11m)、

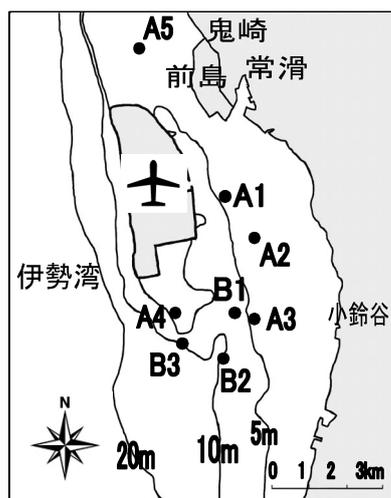


図1. 伊勢湾の中部国際空港島周辺海域底泥の調査地点。A地点は浅海域で沿岸域の5m前後を、B地点は深い10m前後の海域を占める。

表1. 化学分析に供した底泥柱状試料の状況と試料採取地点。

観測日	試料層	分割層	アクリルパイプ 本数	採取地点
2003年7月26日	0-7.5 cm	2.5 cm	3本	A1,A2,A3,A4,B1,B2,B3
2003年10月11日	0-7.5 cm	2.5 cm	3本	A1,A2,A3,A4,B1,B2,B3
2004年7月17日	0-5 cm	1 cm	2本	A2,A3,B2,B3
	5-7 cm	1 cm	1本	
	7-12 cm	2.5 cm	1本	
2005年7月16日	0-5 cm	1 cm	1本	A1
	0-5 cm	1 cm	2本	
	5-15 cm	2.5 cm	1本	
2007年4月28日	0-5 cm	1 cm	2本	A1,A3,A4,A5,B1,B2,B3
	5-15 cm	2.5 cm	1本	
2007年7月7日	0-5 cm	1 cm	2本	A3,A4,A5,B1,B2,B3
	5-15 cm	2.5 cm	1本	
2008年7月26日	0-7.5 cm	1 cm	1本	A3
	0-7.5 cm	1 cm	1本	B2
	0-7.5 cm	1 cm	1本	B3

表2. A地点群とB地点群における海域底泥表層(0～2.5 cm)の鉄・マンガン濃度の比較。2004年7月～2007年7月のA地点群とB地点群における海域底泥表層(0～2.5 cm)の鉄・マンガン濃度平均値の比較(平均値±標準偏差)を示す。

コア採取地点	サンプル数	鉄(mg g <sup>-1</sup> )	マンガン(mg g <sup>-1</sup> )
A1～A5	18	4.2 ± 2.2	0.10 ± 0.06
B1～B3	17	9.8 ± 2.1	0.38 ± 0.17

B2(11 m)、B3(13 m)において観測を行った。

化学分析用の底泥柱状試料はアクリルパイプ(内径5.0 cm、長さ50 cm)を潜水漁民が海底に押し込んで採取した。各調査地点で2003年10月までは3本、その後、その3本の柱状試料の各深度で求められた鉄、マンガンの濃度には特に大きな差は認められなかったため、2004年からは3本採取のうち1～2本を化学分析に供した(表1)。

底泥柱状試料は実験室に持ち帰って直ちに、2003年10月までは2.5 cmごとに分割したが、2004年7月からは年代測定によって堆積速度が0.5 cm y<sup>-1</sup>と明らかになった(西條ら2008)ので、0～5 cmまでは1 cmごとに分割し化学分析に供した。試料を105℃で乾燥後、試料に含まれる有機物中や錯体の鉄、マンガン化合物を分解するため、乾燥試料0.05 gをアルカリ性ペルオキシ二硫酸カリウム分解法(オートクレーブ121℃、1時間加圧分解)で酸化分解(日本規格協会、1998)し、これらを水酸化物や酸化物として溶解、沈殿(石谷ら、1983)させた。中和後、塩酸酸性でpH1以下にし、水酸化物、酸化物及び硫化物中の鉄、マンガン溶解させた。元素は、原子吸光分光光度計(SHIMADZU AA-6200)(波長Fe:248.3 nm、Mn:279.5 nm)で鉄、マンガンを定量した。今回の底泥の分析方法では岩石などの一次鉱物や粘土に含まれる鉄・マンガンは検出されないと考えられ(日本分析化学会北海道支部、1981)、底泥中の有機物、錯体、酸化物及び硫化物中の鉄・マンガンが定量される。

2008年7月には底泥間隙水の鉄、マンガンを測定するために、A3、B2及びB3の3地点において同様に柱状試料を採取し、1 cmごとに、プラスチック網目(口径約2 mm)のついたプラスチック製遠沈管(自作:直径2.6 cm、高さ10 cm)に分取して遠心分離(3000 rpm、15分間)を行なった。遠沈管の下層に溜まった試料(間隙水と少量の泥)を通常の遠沈管にてさらに遠心分離し、間隙水と泥を完全に分離して、間隙水をただちに硫酸酸性にし、鉄、マンガンを原子吸光分光光度計で定量した。さらに、間隙水を取り出した残泥(固相)を、底泥中の鉄、マンガンと同様に、乾燥、オートクレーブにて加熱分解処理後塩酸酸性とし、鉄、マンガンを定量した。

## 結果と考察

中部国際空港建設事業の工事経緯は、空港島においては、2000年8月護岸工事着工、2001年3月に概成、2003年2月に埋立工事が完了した。また、2004年9月から空港島南側護岸工事を開始した。空港島地域開発用地は2001年8月から埋立て工事を開始、2004年12月に完了した。空港対岸部(前島)は2001年9月から埋立て工事を行っており、2004年10月に完了した(中部国際空港株式会社・愛知県、2005)。

空港島周辺の底泥堆積速度が年間0.5 cmと得られているので(西條ら、2008)、表2に約5年分に相当する底泥表層

中部空港島周辺における海域底泥中の鉄及びマンガン濃度の分布から見た浅海域の環境変化

(0～2.5 cm) の鉄・マンガンの A 地点群 (A1～A5) と B 地点群 (B1～B3) における平均値 (観測期間 2003 年 7 月から 2007 年 7 月の 6 回分) の比較を示した。尚、2004 年以降のデータは 1 cm ごとに測定したものを 0～2.5 cm に積算した値の平均値を用いた。但し、欠損試料の A1: 2004 年 7 月, 2007 年 7 月, A2: 2005 年 7 月, 2007 年 4 月, 7 月, A3: 2005 年 7 月, A4: 2004 年 7 月, 2005 年 7 月, A5: 2003 年 7 月, 10 月, 2004 年 7 月, 2005 年 7 月, B3: 2004 年 7 月を除いた平均値である。

底泥中の鉄、マンガンの濃度を A 地点群と B 地点群で比較すると、極浅海域 A 地点群より深度のある浅海域 B 地点群が観測期間を通して高い値をとることが認められた。各地点における経年変化については 2003～2007 年の間、増加または減少についての一定の傾向は認められなかった。梅村・八木 (2008) は 2003 年と 2007 年の 5 年間に相当する表層 0-2.5 cm の強熱減量値を比較し 2007 年が高く、また、深度のある B 地点群が極浅海域 A 地点群よりも強熱減量値が高いことを示した。底泥中の有機物量が多く存在することで微

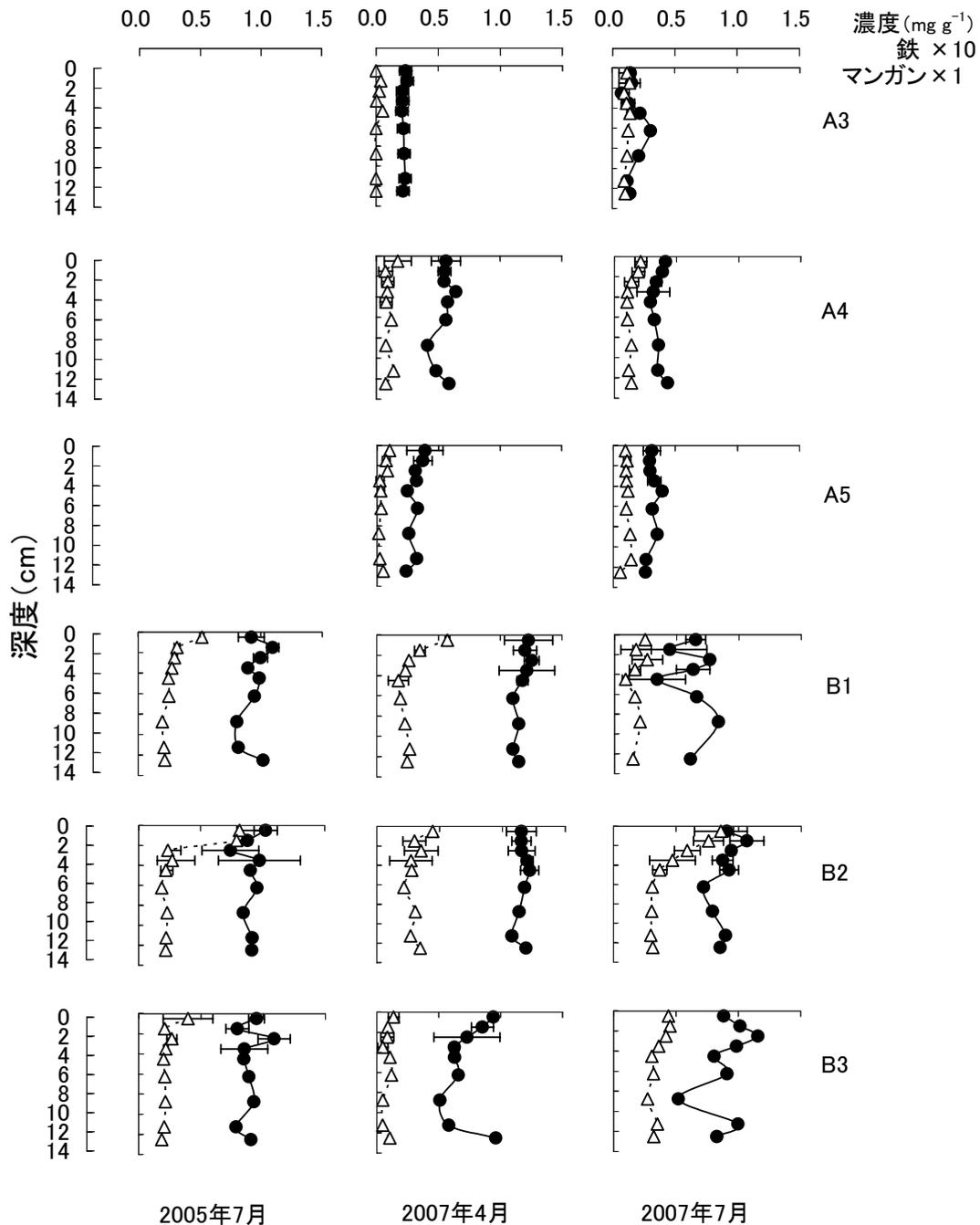


図 2. 2004 年 7 月～2007 年 7 月の各地点における海域底泥中の鉄、マンガン濃度鉛直分布 (●底泥中の鉄, Δ底泥中のマンガン)。

生物による分解が進み還元的環境になりやすく、このような環境では鉄及びマンガンが多く存在する傾向にあるものと考えられる。

図2に各地点における観測日と底泥中の鉄、マンガンの濃度の鉛直分布を示す。底泥表層から最大15 cmまでの泥中の鉄、マンガン濃度は、0～2.5 cmの表層底泥と同様にA地点群よりB地点群が高いことが確認された。底泥中のマンガン濃度は底泥の表面に蓄積する傾向がB1の2005年7月、2007年4月、B2の2005年7月、2007年7月において顕著に認められた。これは、底泥中のMn(IV)がMn(II)へ還元されることで間隙水中での移動拡散が可能になり、Mn(II)は底泥表層水中まで溶出し、海水中の溶存酸素によってMn(IV)へ酸化され再び蓄積(沈積濃縮)したものと考えられる。この現象を、manganous wheel(Mayer et.al, 1982)と呼ぶ。鉄の同現象はferrous wheel(Campbell and Torgersen, 1980)と呼ぶが、底泥中の鉄濃度の鉛直分布には表面に蓄積する顕著な傾向は見られなかった。梅村・八木(2008)は全硫黄含量が各B地点においていずれも高く、0～2 cm層では底泥表層に近いほど高くなる傾向を示した。

また、西条ら(2008)は2005年7月の0～10 cm層の全硫黄含量がA1:0.5 mg g<sup>-1</sup>以下、B3:1～2 mg g<sup>-1</sup>であったことを報告した。このことからB地点群の底泥表層付近では、有機物の分解が特に活発で無酸素状態になり易く海水中に豊富にある硫酸イオンから硫化水素へ、Fe(III)からFe(II)へそれぞれ還元され硫化鉄が生成し堆積していると考えられる。B1及びB2地点の直上水は、図2の底泥中のマンガン濃度鉛直分布勾配から示されるように酸化還元電位が低い状態、すなわち貧酸素水が形成されていると判断される。

このように、浅海域B地点群は極浅海域A地点群よりも底泥中の鉄、マンガン濃度が高い値を示し、硫化鉄が存在していることから硫酸還元に至る還元的環境であり、底泥の有機汚濁が著しいと考えられる。極浅海域のA地点群の底泥はB地点群でみられた様なmanganous wheel傾向は小さく、鉄の存在量も少なく、硫酸還元に至るまでの低い還元的環境までは至っていないと考えられ、汚濁の進行は比較的に小さいと考えられる。

2008年7月には酸化還元状況をよりよく知るために、底泥間隙水について測定を行った。図3にA3, B2, B3地点

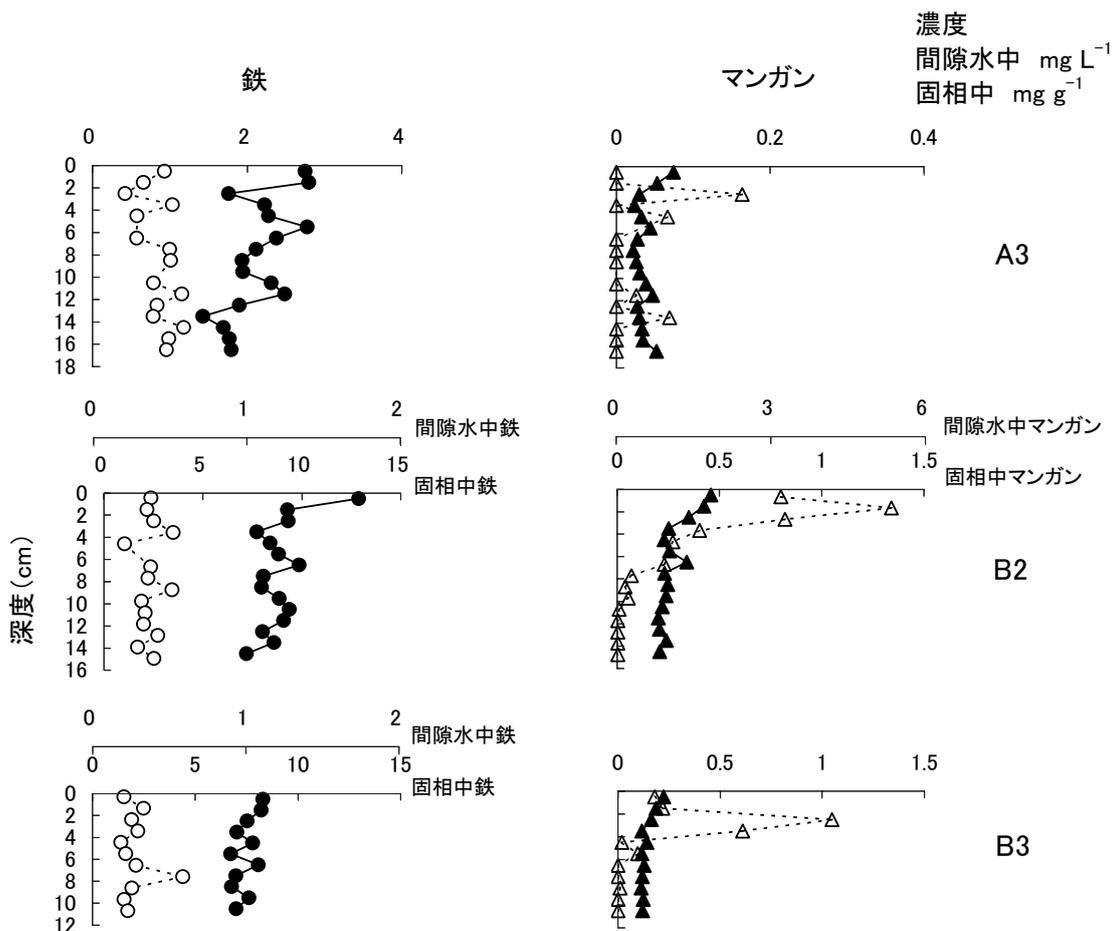


図3. 2008年7月の地点A3、B2、B3における海域底泥の間隙水中と固相中の鉄、マンガン濃度の鉛直分布(○間隙水中の鉄、●固相中の鉄、△間隙水中のマンガン、固相中のマンガン)。

の底泥間隙水中の鉄、マンガン濃度、間隙水採取後の残泥（固相）の鉄、マンガン濃度の鉛直分布を示した。間隙水中のマンガン濃度は A3 では  $0.2 \text{ mg g}^{-1}$  を下回っていたが、B2、B3 地点の深度 0 ~ 4 cm 層には最大値 B2:  $5.3 \text{ mg L}^{-1}$ 、B3:  $1.0 \text{ mg L}^{-1}$  とマンガンが多く存在していた。底泥中の Mn(IV) が Mn(II) へ還元され、間隙水中で表層付近へ移動している様子が確認できた。鉛直分布図 3 に示される B2、B3 地点の底泥中に硫化水素臭があったことから B 地点の底泥には硫化鉄が存在し、底泥の汚濁状況は硫酸還元に至るまでの還元状態であったことが考えられる。

水中の鉄及びマンガンは、硫化物が存在しない場合は、酸素の運搬をして底泥での生物浄化作用の補助役をする。また、鉄は水中のリン酸を酸化鉄とともに共沈させ水塊の浄化に貢献している。一方、底泥での微生物による有機物分解過程で硫酸還元環境では、鉄は硫化鉄として沈殿して黒色を呈した汚濁堆積物の一部となり、底泥に留まる。この汚濁堆積物が還元的環境を継続させ、底泥の無酸素化を一段と進行させる要因になるものと考えられる。また、還元的環境はリン酸の底泥からの溶出を容易にするため、富栄養化への手助けとなる。今後、鉄とマンガンを活用して底泥を評価するためには、各態の鉄とマンガンの鉛直分布のみでなく、リン酸や硫化物濃度との関連を明らかにしたり、鉄とマンガンのイオン・化合物の存在状態を解明したりすることが必要と考えられる。

## 謝 辞

この調査を遂行するにあたり、2002 年からはプロ・ナトゥーラ・ファンド第 13 期研究助成を、2006 年からは住友財団の研究助成を、それぞれ受けました。日間賀島漁業組合と同組合潜水漁民、野間・小鈴谷漁業組合および知多半島周辺漁業組合には多大な協力、援助、助言を頂き深く感謝申し上げます。

## 文 献

- Campbell, P. and T. Torgersen (1980): Maintenance of iron meromixis by iron redeposition in a rapidly flushed monimolimnion. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37: 1303-1313.
- 中部国際空港株式会社・愛知県(1998): 中部国際空港建設事業及び空港島地域開発用地埋立て造成事業に関する環境影響評価準備書(要約書).
- 中部国際空港株式会社・愛知県(2005): 中部国際空港建設事業及び空港島地域開発用地埋立て造成事業並びに空港対岸部埋立て造成事業に係わる平成 16 年度環境監視結果年報.
- 岐阜県・愛知県・三重県・財団法人中部国際空港調査会(1997): 中部国際空港に関する漁業影響調査結果.

- 石谷寿・大川和伸・久下芳生・中本雅雄(1983): アルカリ性ペルオキシ二硫酸カリウム分解・紫外吸光度測定法による水試料中の全窒素の測定. *水質汚濁研究*, 6: 51-58
- Matsukawa, Y. and T. Suzuki (1985): Box model analysis of hydrography and behaviour of nitrogen and phosphorus in an eutrophic estuary Japan. *Journal of Oceanographic Society of Japan*, 41: 407-426.
- Mayer, L., P. F. Liotta and S. A. Norton (1982): Hypolimnetic redox and phosphorus cycling in hypereutrophic Lake Sebasticook, Maine. *Water Research*, 16:1189-1196.
- 日本海洋学会海洋環境問題委員会(1999): 閉鎖性水域の環境影響評価に関する見解 — 中部国際空港人工島建設の場合. *海の研究*, 8(5): 349-357.
- 日本分析化学会北海道支部(1981): 水の分析(第3版):360-362. 化学同人, 京都.
- 日本規格協会(1998): JIS K0102 工場排水試験方法(2003年確認): 167,179. 日本規格協会, 東京.
- 西條八束・寺井久慈・永野真理子・鮎川和泰・八木明彦・梅村麻希・加藤義久・川瀬基弘・佐々木克之・松川康夫(2008): 中部空港島建設による水質、底質、底生生物群集の劣化. *海の研究*, 17:281-295.
- Stumm, W. and J. J. Morgan (1981): *Aquatic Chemistry*. 2nd ed., Wiley-Interscience, New York.
- 梅村麻希・八木明彦(2008): 空港島建設による底質環境の変化. 第 16 回地球環境シンポジウム講演集, 土木学会: 131-136.
- (担当編集委員: 寺井久慈, 中部大学応用生物学部)

