

— 論 文 —

## 中部国際空港島建設による水質, 底質, 底生生物群集の劣化\*

西條 八束<sup>†</sup> ・ 寺井 久慈<sup>‡</sup> ・ 永野 真理子<sup>\*\*</sup> ・ 鮎川 和泰<sup>††</sup> ・  
八木 明彦<sup>\*\*</sup> ・ 梅村 麻希<sup>\*\*</sup> ・ 加藤 義久<sup>‡‡</sup> ・ 川瀬 基弘<sup>\*\*\*</sup> ・  
佐々木 克之<sup>†††</sup> ・ 松川 康夫<sup>‡‡‡</sup>

### 要 旨

伊勢湾東部の浅海域に建設された中部国際空港島が周辺海域環境に与える影響を確認するため、空港島周辺の浅海域において、水温、塩分、溶存酸素、底質、底生生物の定点調査を2002年10月から2005年10月の成層期に、また空港島と対岸に挟まれた水道の中央部で水位、海底直上水の溶存酸素、水温、塩分の連続測定を2007年4月から9月に実施した。さらに、空港島南側水深13mの地点の底泥柱状試料を1cmごとに鉛210法で年代測定し、表層付近の堆積速度 $0.5\text{ cm y}^{-1}$ を得た。この結果に基づき、採取した柱状試料を表層0cmから5cmまでを1cmごとに、5cmから10cmまでを2.5cmごとに分割し、強熱減量、全炭素、全窒素、全リン、全硫黄を分析した。また、底生生物の種類と個体数を測定し、工事開始以前の事業者の調査結果と比較した。さらに、既存資料に基づき漁業生物に対する影響を考察した。この結果、第一に、空港島建設に伴い周辺浅海域の底生生物群集の種類数と個体数が貧酸素の発生と底質の劣化によって顕著に減少したこと、第二に、この貧酸素と底質劣化は空港島の遮蔽効果による潮流の減少によって生じたものであること、第三に、空港島建設による浅海域の喪失および周辺浅海域の貧酸素や青潮によって、この海域を育成場とする漁業資源が減少した可能性があることが、それぞれ立証された。また、底質調査においては、採泥器で深さ約10cmまで採取・混合して分析する従来の方法を、底泥柱状試料を表層付近では1cmごとに分割して分析する方法に、改善する必要があることが改めて確認された。

キーワード：伊勢湾, 空港島, 貧酸素, 底質, 底生生物, 堆積速度

### 1. はじめに

この間、我が国では関西国際空港、中部国際空港、神戸空港などの人工島や中海、諫早湾の締め切り堤防など、浅海域に巨大な構造物が建設されてきた。これら構造物の海洋環境への影響を解明するためには、しっかりした事前・事後の調査を行い、その中から環境の変化を抽出し、その要因を考察する、という地味な仕事の積み重ねが必要である。その際、調査は事業者だけでなく、他のグループによっても行われ、データの突き合わせや補完が広がることが望ましい。我々の調

\* 2007年11月12日受領；2008年3月12日受理  
著作権：日本海洋学会, 2008

<sup>†</sup> 〒465-0063 名古屋市名東区新宿 2-247  
(2007年10月9日没)

<sup>‡</sup> 中部大学応用生物学部  
〒487-8501 春日井市松本町 1200

<sup>\*\*</sup> 愛知工業大学工学部  
〒470-0392 豊田市八草町八千草 1247

<sup>††</sup> 鳥根大学総合理工学部  
〒690-8504 松江市西川津町 1060

<sup>‡‡</sup> 東海大学海洋学部  
〒424-8610 静岡市清水区折戸 3-20-1

<sup>\*\*\*</sup> 愛知みずほ大学人間科学部  
〒470-0394 豊田市平戸橋町波岩 86-1

<sup>†††</sup> 〒064-0807 札幌市中央区南7条西23丁目 1-15-422

<sup>‡‡‡</sup> 〒241-0833 横浜市旭区南本宿町 77-47

査は、そのような仕事の一例と位置づけられる。

中部国際空港の場合、中部国際空港株式会社・愛知県(以下、事業者)は中部国際空港の環境影響評価準備書(要約書)(1998)のなかで概ね「海岸地形、底質、水質の変化は小さいので、底生生物や魚類への影響も小さい」との評価を示した。これに対し、日本海洋学会海洋環境問題委員会(1999)は見解を発表し、概ね次のように指摘した。

1. 空港島とその周辺の浅海域(以下、周辺浅海域)は、伊勢湾の中でも木曾三川からの南下流によって豊富な栄養塩と良質のプランクトンが供給され、しかも夏季には全湾に及ぶ底層の貧酸素を常に免れるまれな海域で、漁業資源の最良の再生産の場、最良の漁場である。
2. 原理的には潮汐流(南北流)も恒流(南下流)も空港島と常滑地先の埋立地(以下、前島)によって遮蔽され、空港島の南と北で流れが弱まる。空港島と対岸に挟まれた水道(以下、空港島水道)ではビル風の原理で表層の恒流が強まり、下層の海水を連行するので、下層では流れが空港島の南から東に回り込み、空港島水道は収束域となる(中部空港株式会社・愛知県, 1998)。このため、周辺浅海域では貧酸素と底質の劣化が起る可能性が高い。
3. したがって、周辺浅海域の水・底質の劣化がこの海域に生息する魚介類にどのような影響を与えるか、きめ細かく検討すべきである。

これに対し、事業者は影響評価書(中部空港株式会社・愛知県, 1999)においても評価を変更しなかった。また、事業者は工事後も空港島と前島の埋立て前後の水質、底質、底生生物、漁業生物に関するモニタリングを行なっているが、評価を変更するような発表はしていない。

一方、周辺浅海域で潜水漁業を行なう漁民から、その水域の海底付近が濁り、漁業がほとんどできなくなってしまったので科学的に調査してほしいとの要望が出され、我々はその要望を受けて調査を実施した。空港島の外壁の建設は2000年8月に着工、2001年3月に概成、2005年2月に開港しており、我々が調査を開始し

た2002年10月は、空港島と前島の外壁が完成し、工事が埋め立てと上物の建設に移っていた時期にあたる。

この調査の目的は、周辺浅海域における水質、底質、底生生物の現況を把握し、空港島建設以前の状態と比較することによって、環境の変化とその原因、漁業資源への影響を明らかにすることである。調査は西條が統轄し、水質の定点調査は寺井と永野、底質は八木と梅村、底生生物は川瀬、堆積速度は加藤、水質の連続測定は鮎川が担当、佐々木が既往資料に基づいて漁業生物に対する影響を考察、佐々木と松川が調査の設計やデータの解釈・取りまとめについて助言した。なお、論文は西條が着手し、2007年10月9日西條没後は松川が受け継いだ。

## 2. 調査方法

### 2.1. 調査時期および調査点

我々は2002年10月19日、2003年7月26日、同年10月11日、2004年7月17日、同年9月11日、2005年7月16日、同年10月1日の7回、Fig. 1に示す9点で定点調査を実施した。すなわち、空港島の東側と南側の水深5m前後の極浅海域A1(水深4m)、A2(3m)、A3(5m)、A4(7m)、2005年10月1日に追加した空港島より北の鬼崎漁港地先の極浅海域A5(6m)、空港島水道の水深10m余りの浅海域B1(11m)、B2(11m)、B3(13m)、2003年7月26日から追加した空港島西側の深場のC(20m)、2007年4月28日から9月22日に水質の連続測定を実施した水道中央部のD(13m)である。調査点Dは、水深10m余りまで掘り下げられた航路の縁に位置する。これらの調査点のうちA1~A4とB3の5点は事業者側の調査点と一致しており、相互のデータの比較が可能である。

### 2.2. 調査項目、資料採取及び分析方法

**水質の定点調査** 全ての調査点において水深、水温、塩分、溶存酸素(以下DO)をHydrolabo社の多項目水質計(MS4a)で深さ1mごとに測定した。ただし、2004年9月11日のみ堀場製作所U-2000を使用した。なお、2005年10月1日以降は蛍光法(Holm-Hanzen, 1965)

によるクロロフィル a の測定を追加した。

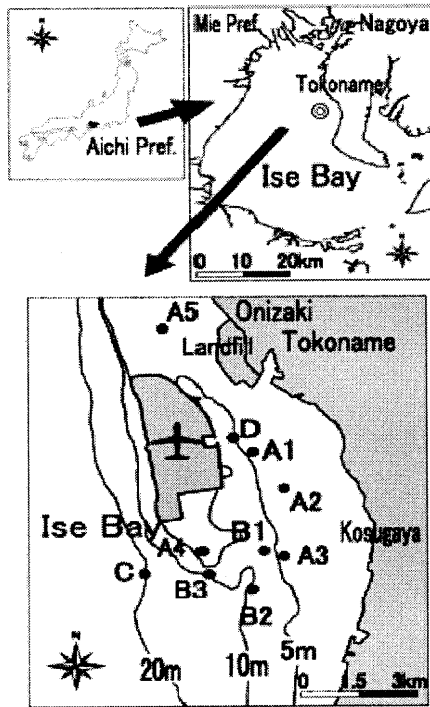


Fig. 1. Study site and location of the Chubu International Airport Island and our monitoring stations, A1 to A5, B1 to B3, C and D. Station D is located at the margin of the course dredged down to a depth of more than 10 m depth.

**水質の連続測定** 空港島水道の中央部に位置する調査点 D の海底上 1.5 m において DO と水位を米国 Hydrolab DataSonde5x 多項目水質計で 2 時間間隔、5 か月間連続記録した。なお、この装置センサー部を銅製で 2 mm 幅の網で覆い、小動物の侵入を防ぐとともに、ワイパー式洗浄装置を装着し、計測時間前に 2 回、センサー表面を清掃した。DO の 5 か月間の誤差は、空気飽和水中で 5 % 以内 (開始時 97.7%, 終了時 101.3%) であった。

**底泥の採取** 化学分析用の底泥柱状試料を、アクリルパイプ (内径 5.0 cm, 長さ 50 cm) を海底に押し込み、各調査地点で 3 本ずつ採取した。また、年代測定用の試料を 2003 年 4 月、空港島南部の B3 (13 m) において、アクリルパイプ (内径 8 cm, 長さ 50 cm) を海底に押し

込み、採取した。採取作業は全て潜水漁民が行った。

**底泥の年代測定** 調査点 B3 の柱状試料を 1 cm ごとに切断し、含水率およびバルク密度を測定した。試料中に貝殻片が認められたため、乾燥した 50 試料につき、炭酸カルシウム ( $\text{CaCO}_3$ ) を加藤・岡部 (1988) の方法を用いて測定した。鉛 210 ( $^{210}\text{Pb}$ ; 半減期 22.3 年) は Kato *et al.* (2003) の方法に基づいて測定し、過剰鉛 210 ( $^{210}\text{Pb}_{ex}$ ) を求めた。なお、鉛 210 の濃度は炭酸カルシウムの重量を補正した値である。堆積速度は、コア中の深さ (厚み) および質量深度 (バルク密度から換算) に対して、それぞれの  $^{210}\text{Pb}_{ex}$  の鉛直分布を作出して見積もった。

**底泥の化学分析及び粒度分析** 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、また年代測定によって堆積速度が  $0.5 \text{ cm y}^{-1}$  と明らかになった以後の 2004 年 7 月からは 1 cm ごとに分割し、化学分析した。試料は  $105^\circ\text{C}$  で乾燥後、強熱減量 ( $650^\circ\text{C}$ ) のほか、全有機炭素、全窒素および全硫黄をパーキンエルマー社 2400 シリーズ 2 型の元素分析計で同時測定した。なお、全硫黄の測定値が変わるので、試料の酸処理は行わなかった。全硫黄は 3 回測定し、平均値をとった。全リンは乾燥試料 0.05 mg をアルカリ性過硫酸カリウム分解法 (オートクレーブ  $121^\circ\text{C}$ , 1 時間加圧分解) で処理し、リン酸として定量した。なお、2005 年 7 月のみ、底質の粒度分析を実施し、粒度はふるい法 (最小粒径粒子はワットマン GF/F ろ紙で採取) で測定した。

**底生生物の採取及び処理** 底生生物の試料は、潜水漁民が潜水して採取した。すなわち、1 回の採取量がスミス・マッキンタイヤ型採泥器とほぼ同量になるように、調査地点の海底に 30 cm 四方の方形枠を設置し、深さ 15 cm 程度までの底泥をスコップで土嚢袋に採取した。底生生物群集分布のばらつきが結果に与える影響を少なくするため、一地点につき 2 回ないし 3 回のサンプリングを行い、平均値をとった。採取した砂泥塊を網の目 1 mm 四方の篩にかけ、篩上に残った底生生物の種と個体数を記録した。底生生物の種別個体数と種類数の変動に指標性軟体動物の出現状況を加え、周辺海域の環境状態を診断するとともに、空港島建設工事以前に事業者がまとめたデータと比較した。

**Table 1.** Comparison between properties, salinity (S) and temperature (T), of the overlying waters at station C (20m deep) and the station of the maximum salinity among other shallower stations.

Date	St.	S	T (°C)	St.	Smax	T (°C)
Jul. 26, 2003	C	33.8	20.8	B2	33.7	20.9
Oct. 11	C	34.1	22.6	B3	33.4	22.2
Jul. 17, 2004	C	34.3	19.5	B3	34.2	19.9
Sep. 11	C	34	25.2	B1	34	25.5
Jul. 16, 2005	C	33.6	19.9	B2	33.2	20.6
Oct. 1	C	32.9	22.9	B3	31.9	23.4

**貧酸素の目安** この調査における貧酸素の用語法は以下の目安に従った。「貧酸素」は底生魚介類の生理・生態(したがって漁場形成)に影響を及ぼす DO で  $3 \text{ ml L}^{-1}$  あるいは  $4.3 \text{ mg L}^{-1}$  以下, 水温  $20^\circ\text{C}$  における酸素飽和度で 58% 以下, 「魚介類を死に至らしめる貧酸素」は, 魚類や甲殻類など活発に動くものについては  $2 \text{ ml L}^{-1}$ ,  $2.86 \text{ mg L}^{-1}$ , 39%以下, 貝類などあまり動かないものについては  $1 \text{ ml L}^{-1}$ ,  $1.43 \text{ mg L}^{-1}$ , 19%以下である(日本水産資源保護協会, 1989; 鈴木, 1998)。

### 3. 調査結果

#### 3.1. 海底直上水の DO

2002年10月19日には, 深場の調査点 C (20 m) はまだ設定されていない。周辺浅海域はほぼ全層が海面冷却による混合状態で, 殆どの DO は 70% を上回っていた。しかし, 空港島水道の南の入口に位置する B1 (11 m) の海底直上水(以下, 直上水)では未だ 50% ( $3.5 \text{ mg L}^{-1}$ ) で貧酸素だった。また, 水道の奥に位置する A1 (4 m) でも 69% ( $4.9 \text{ mg L}^{-1}$ ) と他の地点に比べて低く, しかも海底直上における DO の鉛直勾配が大きかった。

2003年7月26日には, 深度 1~4 m に顕著な塩分躍層が見られた。海底直上水の DO は, 水深が浅い A1 (4 m) と A2 (3 m) でわずかに 50% を上回った以外はすべて 42~46% ( $3.1\sim 3.4 \text{ mg L}^{-1}$ ) の貧酸素であった。空港島南の A3 (5 m), A4 (7 m), B1 (11 m), B2 (10 m), B3 (13 m) では海底直上における DO の鉛直勾配が大きかった。注目すべきは, Fig. 2 に示すように, 深

場の C (20 m) で DO の極小が海底直上の 42% と中層 (10 m) の 40% に二つ見られたことである。この中層の塩分と水温はほぼ同じ水深の B1, B2 における直上水の塩分と水温に近かった。10月11日には, 水深 5~7 m まで冷却による混合が及び, 海底直上水の DO は水深 5 m 以下の A1, A2, A3, A4 では 68% 以上に回復していたが, 水深 20 m の C と水深 10 m 台の B1, B2, B3 の直上水は 50% 前後の貧酸素であった。

2004年7月17日および9月11日には, 全層にわたり顕著な成層構造が維持されていたが, 水深が 10 m 余りの B1, B2, B3 の直上水でも DO が 50~60% と, この時期としては高かった。このことは, 2004年は台風の襲来がとくに多く, 7月から9月の調査の間に本州に4個上陸しており, これによって強い鉛直攪乱が生じ, 深場まで DO が供給されたことを示唆した。7月17日に直上水の DO が 50% 台で貧酸素ぎみだったのは調査点 C, B1, A1 のみで, 9月11日には全ての調査点で直上水の DO は 60% 台に回復し, 貧酸素は解消されていた。

2005年7月16日に直上水の DO が 60% 台で貧酸素を免れていたのは水深 5 m 以下の A1, A2, A3 のみであった。注目すべきことは, 調査点 C の直上水の DO が 47% であるのに, B1 と B2 は 44%, B3 と A4 は 37%, A5 は 26% とそれを下回っており, 空港島西側の深場よりも空港島水道だけでなく空港島の北側の A5 を含む周辺浅海域の方が先んじて貧酸素化していたことである。また, 深場 C の DO には水深 20 m の 47% と水深 9 m の 45% の二つの極小が見られ, 水深 9 m の極

03.7.26 C				B2				04.9.11 C				B1			
D(m)	T(°C)	S	DO(%)	D(m)	T(°C)	S	DO(%)	D(m)	T(°C)	S	DO(%)	D(m)	T(°C)	S	DO(%)
0.4	23.31	23.79	96.8	0.4	23.11	25	90.2	0	26.3	28	138.7	0	26	26	126
1.7	23.07	25.33	92.4	1	23.07	25	87.9					1	26	26	122.5
2.1	22.67	27.87	80.5	2.2	22.93	26.2	82.5	2	26	29	131.1	2	26.1	26	107.9
3.1	22.37	30.62	68.2	3	22.49	29.9	69.7	4	25.8	32	114.7	3	25.9	33	89.9
4	22.09	31.34	62.5	4	22.16	31.4	66.4	6	26	32	99.3	4	25.8	33	85.9
4.9	21.52	32.32	51.8	5.1	21.92	32.5	65.2	8	25.8	33	84.2	5	25.8	33	83.7
6	21.25	33.07	56.1	6	21.79	32.7	63.7	10	25.6	33	78.1	6	25.8	33	81.4
6.8	21.08	33.12	52.4	6.9	21.7	32.8	61.6	12	25.4	34	80.3	7	25.7	33	78.2
7.9	20.82	33.28	48.7	7.9	21.67	32.9	58.4	14	25.3	34	77.3	8	25.6	34	71.9
9.2	20.54	33.39	43.1	8.9	21.54	33.1	54.8	16	25.2	34	77.8	9	25.6	34	72.2
9.9	20.42	33.47	39.6	10	21.11	33.5	44.8	18	25.2	34	66	10	25.5	34	71.9
12.1	20.65	33.78	43.9	10.1	20.92	33.7	42.2	20	25.2	34	15.7	11	25.5	34	71
13	20.78	33.79	46.8									11.5	25.5	34	67.3
14.1	20.81	33.79	47.7												
15.1	20.82	33.8	47.8												
16.8	20.82	33.8	47.7												
17.7	20.82	33.8	47.7												
18.6	20.82	33.79	46.4												
19.2	20.76	33.79	42.5												

Fig. 2. Comparison among profiles of water temperature, T (°C), salinity, S, and dissolved oxygen, DO (%), at station C (20 m depth) and those at stations B1 or B2 where S of the overlying water was highest among other shallower stations near the airport island, and also where differences in T and S of the overlying waters between those at station C were smallest among the observation periods. Shaded parts of columns indicate properties of the overlying waters and those of medium layer waters at the same depth of other overlying waters. Difference in properties between waters at the same depth is smaller than those between overlying waters.

小における塩分と水温は水深 10 m の B2 の直上水に近かった。10 月 1 日は C, B1, B2, B3 で貧酸素だった。

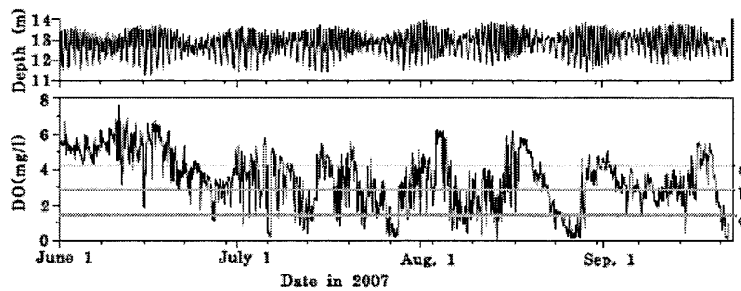
**深場と周辺浅海域の直上水の関係** 水深 20 m の深場 C における直上水の塩分、水温と、周辺海域で直上水の塩分が最高をしめす調査点における塩分、水温を Table 1 に示す。

いずれの観測においても直上水の水温、塩分は相互に異なっており、相互に極めて近かった 2003 年 7 月 26 日と 2004 年 9 月 11 日 (Fig. 2) においても、周辺浅海域における直上水の水温と塩分はその水深とほぼ等しい深度における C の水温と塩分に最も近く、空港島西部の深場の直上水が周辺浅海域に及んだという事例は観測されなかった。

**2005 年の強度の赤潮** 事業者などの報告 (岐阜県・愛知県・三重県・財団法人中部国際空港調査会, 1997) によれば、常滑地先の海面下 0.5 m におけるクロロフィル a の最大値は、1993 年と 1994 年は 33  $\mu\text{g L}^{-1}$ 、1995 年は 53  $\mu\text{g L}^{-1}$  となっている。その後の報告 (中部国

際空港株式会社・愛知県企業庁, 2004) で 0.3~56.6  $\mu\text{g L}^{-1}$ 、同報告 (中部国際空港株式会社・愛知県企業庁, 2005) で 0.1~21.0  $\mu\text{g L}^{-1}$  と、2000 年の空港島建設着工後も変化はないとしている。しかし、2005 年 7 月 16 日の観測時には強度の赤潮が観察され、海水中のクロロフィル a の測定結果はすべての調査点の海面で 56  $\mu\text{g L}^{-1}$  以上の値を示した。特に水深 5 m 以浅の極浅海域の A5 では海面で 200  $\mu\text{g L}^{-1}$ 、2 m で 120  $\mu\text{g L}^{-1}$ 、海底直上で 40  $\mu\text{g L}^{-1}$ 、A3 では海面で 80  $\mu\text{g L}^{-1}$ 、3 m で 440  $\mu\text{g L}^{-1}$ 、海底直上で 40  $\mu\text{g L}^{-1}$ 、A2 では海面で 80  $\mu\text{g L}^{-1}$ 、2 m で 140  $\mu\text{g L}^{-1}$ 、海底直上で 50  $\mu\text{g L}^{-1}$  と、これまでにない高い値を示した。水深 10 m 前後の浅海域 B1, B2, B3 でも海面で 80  $\mu\text{g L}^{-1}$ 、5 m で 30  $\mu\text{g L}^{-1}$  と極めて高い値を示した。

**2007 年 6~9 月の連続記録** Fig. 3 に示されるとおり、空港島水道の中央部に位置する D (13 m) においては、7 月上旬、下旬、8 月上旬、下旬、9 月上旬、下旬には DO が 2.8  $\text{mg L}^{-1}$  (2  $\text{ml L}^{-1}$ ) 以下、また 7 月下



**Fig. 3.** Records of dissolved oxygen, DO, concentration in the overlying water (thick lower line) and the depth of the monitor of water quality (thick upper line) at station D. The thin top gray straight line (a) marks the DO level of  $4.29 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $3 \text{ ml L}^{-1}$ , below which benthos are physiologically affected, the thick medium line (b) marks the level of  $2.86 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $2 \text{ ml L}^{-1}$ , below which the active benthos such as fishes, shrimps and crabs die, and the thick bottom one (c) marks the level of  $1.43 \text{ mg L}^{-1}$ ,  $1 \text{ ml L}^{-1}$ , below which inactive benthos such as bivalves and snails die. The anoxic condition becomes strong at neap tide and weak at flood tide.

旬, 8月下旬, 9月下旬には  $1.4 \text{ mg L}^{-1}$  ( $1 \text{ ml L}^{-1}$ ) 以下となり, 底生生物を死にいたらしめる貧酸素が生じていた。大局的に見れば, DOは潮汐に対して位相が90度遅れ, 小潮に続く中潮に極小が, 大潮に続く中潮に極大が現れていた。

### 3.2. 堆積速度

空港島南部のB3(13 m)において採取した底泥表面0~50 cmの柱状試料の $^{210}\text{Pb}_{ex}$ の鉛直分布と堆積速度はFig. 4のとおりである。柱状試料の25 cm層における $^{210}\text{Pb}$ の濃度は極めて低く, 古い堆積物の挟在が起こっていると判断されたので, 堆積速度の見積もりは上下2層に分けた。平均堆積速度は上層で $0.50 \text{ cm y}^{-1}$  ( $0.53 \text{ g cm}^{-2} \text{ y}^{-1}$ ), 下層では $0.33 \text{ cm y}^{-1}$  ( $0.34 \text{ g cm}^{-2} \text{ y}^{-1}$ )であった。この堆積速度から, 25 cm層の古い堆積物は, 柱状試料採取の44年前, この地域に大きな被害を及ぼした伊勢湾台風(1959年9月26日)の際に, 陸上から流入した物質であると判断された。すでに松永ら(1986)は, 湾中央域における堆積速度は $0.14\sim 0.97 \text{ g cm}^{-2} \text{ y}^{-1}$  (平均値 $0.34 \text{ cm}^{-2} \text{ y}^{-1}$ )であり, この値を堆積物表面の平均堆積速度に換算すると $0.8\sim 2.3 \text{ cm y}^{-1}$  (平均値は $1.4 \text{ cm y}^{-1}$ に相当)となることを報告している。またLu and Matsumoto (2005)は, 湾内

10か所において堆積物中の $^{210}\text{Pb}$ の鉛直分布を測定し, 堆積速度が $0.06\sim 0.76 \text{ g cm}^{-2} \text{ y}^{-1}$ であったと報告している。これらの結果は, 年々の時間スケールで環境変化を明らかにしようとするならば, 柱状試料は底泥表層付近では少なくとも1 cm程度の厚みで切り分けて分析しなければならないことを示した。

### 3.3. 底質

空港島建設以前から調査を行っている事業者のデータと比較が可能な調査点のうちB3, A1, A4, における底質の鉛直分布(Fig. 5)と経年変化(Fig. 6)を示す。なお, B3は水深10 m前後で底泥表層のC/N比が10~14, A1は水深5 m前後でC/N比が6~8前後, A4は水深7 mでC/N比が15であった。

**粒度画分と化学成分の鉛直分布** Fig. 5に示されるとおり, A4における全炭素と強熱減量を除けば, シルト・粘土画分が多いほど強熱減量, 全硫黄, 全炭素, 全チッソ, 全リンのいずれも濃度が高かった。また, B3における強熱減量, 全硫黄, 全炭素, 全リン, A1における全炭素, 全チッソは底泥表層で濃度が高く, 底質変化の分解能を上げるためには底泥表層付近の濃度を比較する必要があることが示された。さらに, 空港島の南に隣接したA4(7 m)より, 空港島水道の中央部にある

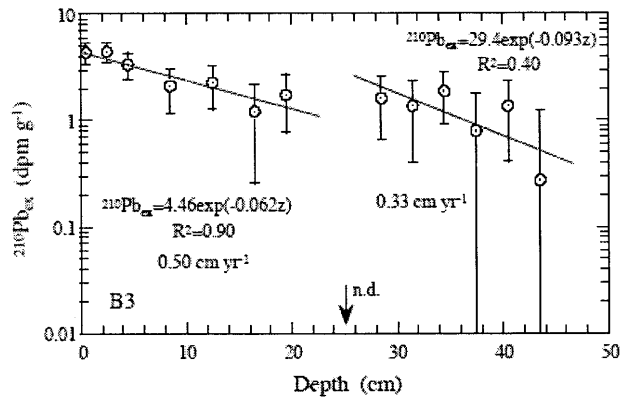


Fig. 4. Profiles of  $^{210}\text{Pb}_{ex}$  concentration in sediment and the sedimentation rate at station B3 near the airport island. The layer 24 to 26 cm deep indicated by a downward arrow, where  $^{210}\text{Pb}_{ex}$  was not detected, corresponds to the year of an epic and devastating Isebay typhoon.

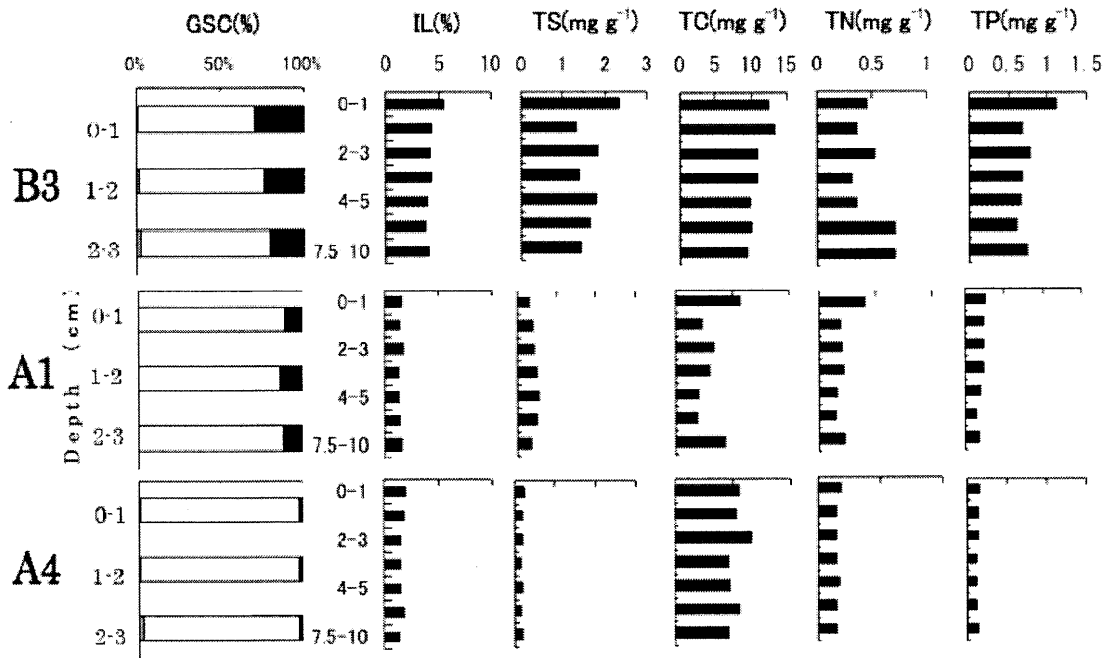


Fig. 5. Profiles of grain-size composition (GSC), ignition loss (IL), concentrations of total sulfur (TS), total carbon (TC), total nitrogen (TN) and total phosphorus (TP) at stations A1, A4 and B3, on July 16, 2005. In the bars of grain-size composition, dark areas indicate silt and clay, open ones sand, and gray ones gravel and granules.

A1 (3 m)の方がシルト・粘土画分, 全硫黄, 全チッソ, 全リンが多く, これらの成分の堆積が空港島と前島に

よる流れや波の遮蔽効果に支配されていることを示唆した。

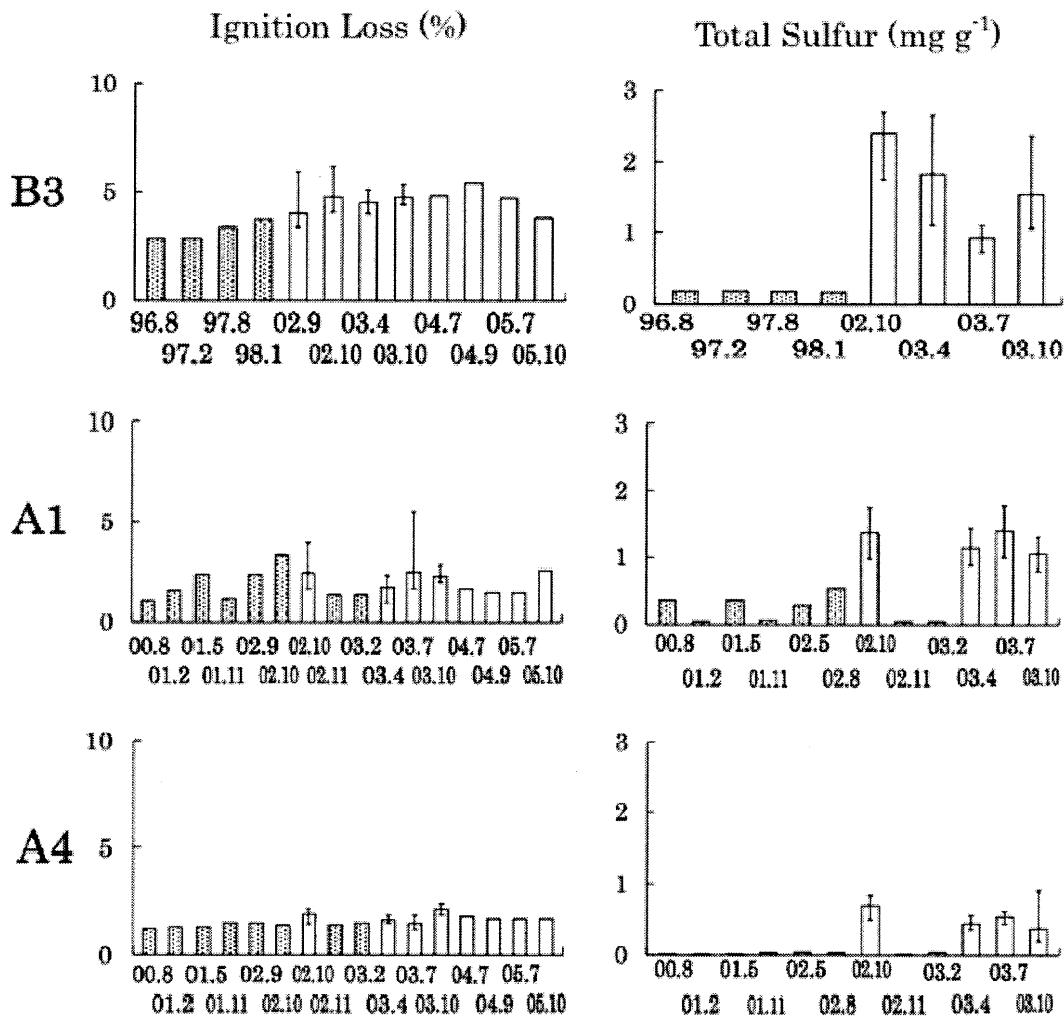


Fig. 6. Year-to-year changes in ignition loss and total sulfur concentration in sediment at stations B3, A1 and A4, from August, 1996 (96.8) to October, 2005 (05.10). Dotted columns indicate the averages from depths of 0 cm to about 10 cm measured by the enterprise authorities (1999, 2003, 2004) and open columns the averages from 0 cm to 7.5 cm measured in this study. The period needed to complete construction of the concrete shore bank of the airport island lasted from August, 2000 to March, 2001.

**経年変化** Fig. 6 に示されるとおり、強熱減量は、B3 では1997年から2003年まで増加し、2005年から減少傾向を示した。A1でも2000年から2002年にかけて増加し、その後は減少傾向を示した。A4では強熱減量は工事後も少ない状態が続いている

### 3.4. 底生生物

工事後の実態について、我々がA1からA4、B1からB3まで調査した結果を述べる。また、工事前後の底生生物のデータがそろったA2、A3、B3について、無脊椎動物の工事前と工事後の種類と個体数を比較した結果をFig. 7に示す。



A2 (5m depth)																
Year	'96	'96	'96	'97	'97	'97	'97	'98	'02	'03	'03	'03	'04	'04	'05	'05
Month	May	Aug	Nov	Feb	May	Aug	Nov	Feb	Oct	Apr	Jul	Oct	Jul	Sep	Jul	Oct
<i>Cloacium didyma</i>			1				1									0.5
FRAMIDELLIDAE																
<i>Tibana</i> sp.			1													
<i>Paracardium sinense</i>	7															
SOAPHARIIDAE	6															
<i>Palina argentea</i>	7	29				6	2			5						
ASLAIIDAE							1									
ATTIDAE	3															
<i>Ferussac pusilla</i>										0.5						
<i>Scapharca bruchdoni</i>																
<i>Musculista senhousia</i>		64						1	2	63	1.5	667	1			155
<i>Fulcrum pusillum</i>					7											
<i>Filucina yamakawai</i>	4	3	2	3		50	12	12								
<i>Walucina striata</i>												1				
<i>Lepaxinus cyamai</i>											1.5					
<i>Phytocardium japonicum</i>														0.5		
<i>Purvia uncinata</i>										0.3		0.5				
<i>Macra chinensis</i>	2	15														
TELLINIDAE								5	2							
<i>Gemmalunghia tokubei</i>												0.5		1		0.5
<i>Gemmalunghia miyazensis</i>												0.5				
<i>Miodotellina</i> sp.							3									
<i>Miodotellina nitidula</i>	3			1	2	5	9	9	1		1	1.5	3.5	2		
<i>Miodotellina minuta</i>			2	6												
<i>Macoma tokoyamae</i>							1									
<i>Macoma japonica</i>										0.3						
<i>Solen striatus</i>										0.3						
<i>Dozinia japonica</i>												1.5				3.5
<i>Ruditapes philippinarum</i>			2													
<i>Saxidomus erythrorus</i>														0.5		
<i>Lyonsia ventricosa</i>								1				0.5				

A3 (5m depth)																
Year	'96	'96	'96	'97	'97	'97	'97	'98	'02	'03	'03	'03	'04	'04	'05	'05
Month	May	Aug	Nov	Feb	May	Aug	Nov	Feb	Oct	Apr	Jul	Oct	Jul	Sep	Jul	Oct
<i>Crepidula ostry</i>					2		3					0.5		1.5		
FATIIDAE							1	2								
<i>Notocochlis lunata</i>					2											
<i>Cryptomusca janshoretomoides</i>				1												
FRAMIDELLIDAE			4	64												
<i>Tibana</i> sp.				3												
<i>Palina argentea</i>	13	15		1	14	14	2			0.5						
ASLAIIDAE			1													
<i>Ferussac pusilla</i>				1												
<i>Mytilus edulis</i>	1															
<i>Musculista senhousia</i>		150								160	1	20	191	10	90	2
LUCINIDAE																
<i>Fulcrum pusillum</i>					14											
<i>Filucina yamakawai</i>	6	2	5	24		17	7	2								0.5
<i>Walucina striata</i>		6			1	3	4	2								
<i>Lepaxinus cyamai</i>											2.5				1	
MONTACUTIDAE					5	35	4	6								
<i>Purvia uncinata</i>		1														
TELLINIDAE	1				3		3	7								
<i>Marsca subtruncata</i>										0.5						
<i>Gemmalunghia tokubei</i>																
<i>Miodotellina</i> sp.						16										
<i>Miodotellina nitidula</i>	5			49		11	3	6				0.5	4.5	4		
<i>Miodotellina minuta</i>			1										1	1.5		
<i>Theora fragilis</i>		2														
<i>Vermetopa micra</i>		4					6				1					
<i>Anicocorbula venusta</i>	1										3				5	5.5
<i>Natania orientalis</i>	1															
LYONIIDAE			1		1											
<i>Lyonsia ventricosa</i>					2	2							0.5		0.5	0.5
<i>Paradentalium octangulatum</i>													0.5		0.5	0.5

B3 (15m depth)																
Year	'96	'96	'96	'97	'97	'97	'97	'98	'02	'03	'03	'03	'04	'04	'05	'05
Month	May	Aug	Nov	Feb	May	Aug	Nov	Feb	Oct	Apr	Jul	Oct	Jul	Sep	Jul	Oct
<i>Fedea snyderi</i>			1													
<i>Crepidula dactyl</i>	1	1	1	1	1						0.5	1	0.5			
<i>Ruditapes adamsi</i>	3															
<i>Palina argentea</i>		1	1	1	1		1									
MYTILIDAE					1											
LUCINIDAE			12													
<i>Fulcrum pusillum</i>					5											
<i>Filucina yamakawai</i>	1	1					19									
<i>Lucacina annularum</i>					3											
MONTACUTIDAE			1		3											
<i>Rastrellia pulchella</i>	2				16			1								
TELLINIDAE					2			2								
<i>Miodotellina nitidula</i>	1	5		5	1		6									
<i>Miodotellina minuta</i>		1														
<i>Theora fragilis</i>	29				5	5										

Fig. 7. Molluscan species and number of individuals per 0.15 m<sup>2</sup> in sediment at stations A2, A3 and B3 before (1996 to 1998) and after (2002 to 2005) the airport island construction. Asterisks and shades denote indicative species of anoxia and their number of individuals.

工事後の実態 空港島南側の水深10 m余りのB1, B2, B3では底生動物の種類も個体数もきわめて少なかった。B1では劣悪な環境に抵抗性を持つシズクガイ (*Theora fragilis*), ヒメシラトリ (*Macoma incongrua*)が見られた。B2でもシズクガイが見られ、特に2003年10月には極端に多かった。水深13 mのB3では、2002年10月には貝類は全く見られず、わずかな環形動物が採取されるにすぎず、2003年10月にもハナムシロ (*Zeuxis castus*)以外の軟体動物は確認されなかった。沿岸部の水深5 m以浅のA1, A2, A3のうち、A1では底生動物の種類・個体数ともに比較的豊富だったが、ホトトギス (*Musculista senhousia*), ヒメシラトリなどが出現した。A2も、環形動物の個体数がやや多く、軟体動物の種類が比較的豊富だったが、ホトトギス, ヒメシラトリ, マテガイ (*Solen strictus*)などの汚染に強い種(加藤, 1996; 菊池, 1975; 山路, 1985; 山路・島田, 1976)が認められ、2003年10月にはホトトギスの個体数が著しく多かった。A3は底生動物の種類・個体数ともにやや豊富だったが、ホトトギスガイの個体数が多かった。これに対し、空港島南端に近い水深7 mのA4では環形動物の個体数が多く、軟体動物の種類も比較的豊富だった。このように、工事後、空港島水道においてはA4を除けば水深5 m以浅の極浅海域も含めて底生生物群集が劣化した状態にあることが確認された。

工事前と工事後の比較 Fig. 7に示されるとおり、水深3 mのA2, 水深5 mのA3, 最も深い水深13 mのB3のいずれの地点でも、工事前(1996~1998年)に比べて工事後(2002~2005年)は種類数、個体数ともに減少している。特に2005年7月にはA2とB3で軟体動物が全く確認されなかった。また、ホトトギスが、水深の浅いA2とA3において、工事以前は出現しなかったのに工事以降は頻繁に出現するようになった。また、水深が深いB3では、水深が浅いA2とA3に比べてもともと種類、個体数ともに少なかったのが、工事以降は工事開始前に比べて一層少なくなった。総じて、空港島建設工事後に底生生物群集が劣化したことが確認された。

## 4. 考察

### 4.1. 周辺浅海域の環境は劣化したか

空港島建設に伴い周辺浅海域の水質、底質、底生生物群集が劣化したことは明らかである。

第一に、工事以降にA2, A3, B3の全てで底生生物の種類と個体数が減少し、A2, A3の極浅海域ではホトトギスが爆発的に増えている(Fig. 7)。このような底生生物群集の変化を貧酸素の激化以外で説明することはできない。我々の水質調査結果においては、空港島水道の入り口に位置する水深10 m余りのB1, B2, B3で夏期に直上水が貧酸素(DOが $4.3 \text{ mg L}^{-1}$ 以下)となることは珍しくなかったし、空港島水道の中央部に位置するDにおける水質連続測定結果では、7月から9月の小潮に続く中潮に魚介類を死に至らしめる貧酸素(DOが $1.4 \text{ mg L}^{-1}$ ~ $2.8 \text{ mg L}^{-1}$ 以下)が毎回発生していた(Fig. 3)。この底層の貧酸素水塊は潮汐や風に伴い海底を移動する。場合によっては海岸に沿って湧昇し、青潮となる。2002年8月15日には常滑沿岸に顕著な青潮が発生したことが報道された。調査点A1, A2, A3のような5 m前後の浅場においても底生生物群集が劣化したのは、このような貧酸素水塊の移動によると解釈することができる。

第二に、空港島水道の南の入り口のB3と水道の奥部のA1においては、底泥表層の強熱減量が工事以降に増加した(Fig. 6)。また、工事以降に我々が得た底泥表層(0~7.5 cm)の全硫黄の値もかなり高かった(Fig. 6)(藤永, 2005; Stumm and Morgan, 1981)。これらのことは、工事以降に空港島水道の底泥の有機物が増加するとともに、直上水が貧酸素化したことを強く示唆する。

第三に、工事以前には、この海域は伊勢湾の底層に夏季に発生する全域的な貧酸素の影響を免れていた(日本海洋学会海洋環境問題委員会, 1999)。この海域が伊勢湾の海底を南北に走る断層の棚に位置する開放型の浅海域で、しかも木曾三川の河川水が南下する海域であることが、その要因と解釈されている(日本海洋学会海洋環境問題委員会, 1999)。

#### 4.2. 周辺浅海域の環境の劣化の原因は何か

周辺浅海域における環境の劣化は、日本海洋学会海洋問題委員会(1999)が指摘したように、空港島と前島による潮流の遮蔽が原因と考えるのが妥当である。

第一に、環境影響評価には採用されなかったが、事業者が事前に行なった貧酸素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ていた(岐阜県・愛知県・三重県・財団法人中部空港調査会, 1997)。素直に見れば、我々の調査結果はこの予測と良く合致する。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歸するので、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)。表層の赤潮と底層の貧酸素が表裏一体のものとして現れる原理である。我々が2005年7月16日の調査で確認した空港島水道における強度の赤潮の発生は、このようなシナリオに合致する。また、空港島の北に位置するA5においても強度の赤潮が観測されたが、この海域も空港島の遮蔽効果で潮流が減少する海域に相当しており(中部国際空港株式会社・愛知県, 1998)、潮流の減少自体が密度成層構造の強化と赤潮や貧酸素の発生に結びつくというシナリオにも合致する。

第二に、伊勢湾全体の富栄養化が進行したのに応じて周辺浅海域にも貧酸素水塊が発生するようになった、というシナリオは考え難い。伊勢湾全体の底層における貧酸素( $2.8 \text{ mg L}^{-1}$ 以下)海域の面積は1995年以降漸減傾向にある(中部国際空港株式会社・愛知県企業庁, 2003)とされており、このシナリオに合致しないからである。

第三に、周辺浅海域の貧酸素は伊勢湾の底層に発生した貧酸素水塊が及んだものだ、というシナリオも考え難い。空港島と周辺浅海域は伊勢湾を南北に走る断層の縁に位置し、5~10 mの浅海域が水深20 mの伊勢

湾底に急激に落ち込む地形となっており、伊勢湾の海底付近に発生する貧酸素水塊がこの断層を乗り越えて空港島周辺に及ぶとは考え難いからである。実際、我々が水質調査で見いだした空港島西側の深場における直上水の特性(塩分と水温)と周辺浅海域における直上水の特性は全ての場合に相互に異なっており(Table 1, Fig. 2)、このシナリオを肯定する例はなかった。また、2005年7月16日の調査では、周辺浅海域が空港島西側の深場に先行して貧酸素化していた。事業者の2001年と2002年の貧酸素水塊調査でも、周辺浅海域における貧酸素水塊は、早くは5~6月、本格的には梅雨明けと夏の終わりに、空港島西側の深場における貧酸素水塊に先行して発生しており、しかも、周辺浅海域の貧酸素水塊で、その場で発生したことが明らかな例はあるものの、深場の貧酸素水塊が及んだことが明らかな例はなかった(中部国際空港株式会社・愛知県企業庁, 2002, 2003)。さらに、空港島水道の中央部に位置する調査点Dでは、貧酸素が小潮の時期に発達し、大潮の時期に緩和されることを繰り返している(Fig. 3)。このことは、この海域の貧酸素の生成・消滅がこの海域の潮流の加減に支配されていること、すなわち空港島と前島の遮蔽効果によって周辺浅海域の潮流が全般的に弱まり、特に夏季の小潮の時期に密度成層と貧酸素が発達するようになったこと、また大潮で潮流が強まる時期には成層構造が弱まって貧酸素が緩和されること、とりわけビル風の原理で強い潮流が生じる空港島水道(日本海洋学会海洋問題委員会, 1999)では大潮の時期に貧酸素が解消されることを物語る。

これらを総合的に勘案すれば、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周辺浅海域の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することができる。

#### 4.3. 漁業資源への影響はあるか

空港島建設以後に減少したのは、アサリ、ノリ、マコガレイ、イシガレイ、カタクチイワシの漁獲量である(中部国際空港株式会社・愛知県企業庁, 2004)。

空港島建設以降、対岸の鬼崎と常滑の沿岸には夏季にアオサが堆積し腐敗するようになった(中部国際空港株式会社・愛知県企業庁, 2004)。したがって、鬼崎と常滑におけるアサリ漁獲量減少の要因は、空港島と前島の遮蔽効果によって流れが停滞し、アオサが堆積し腐敗するようになったことと推察される。また、小鈴谷ではアサリの着底稚貝が生き残らず、途中で消えてしまうが、小鈴谷ではアオサの堆積は起っていない(中部国際空港株式会社・愛知県企業庁, 2004)。小鈴谷における着底稚貝の死亡要因は、空港島と前島の遮蔽効果によって木曾三川の河川水が周辺浅海域に及び難くなり、アサリなどの良質の餌となる珪藻の供給が減少し、稚貝が成長不順に陥るようになったことと推察される。

鬼崎と常滑ではノリにも収穫量の減少や品質の悪化が生じている(中部国際空港株式会社・愛知県企業庁, 2004)。これも、栄養塩の豊富な木曾三川の河川水が空港島と前島に遮られて西偏し(中部国際空港株式会社・愛知県企業庁, 1998)、周辺浅海域に及び難くなったためと推察される。

マコガレイ漁獲量の減少は工事後1年半から2年で起きている(中部国際空港株式会社・愛知県企業庁, 2004)。したがって、その要因は、周辺海域の貧酸素による成魚の直接的減少というよりも、産卵場となる広大な浅海域が空港島建設によって失われたこと、また周辺浅海域に発生する貧酸素水塊が稚魚の生残に悪影響を及ぼしたことと推察される。これに対し、イシガレイは工事後直ちに漁獲が減少している(中部国際空港株式会社・愛知県企業庁, 2004)。イシガレイの成魚は浅海域で生息かつ産卵するので、空港島建設による浅海域の喪失と周辺海域における貧酸素水塊の発生によって直接悪影響を受けたと推察される。

伊勢湾全体のカタクチイワシ漁獲量は減少していないが、空港島西部海域では明らかに減少している(中部国際空港株式会社・愛知県企業庁, 2004)。同時に、

この海域では植物プランクトンと動物プランクトンの生産も減少している(中部国際空港株式会社・愛知県企業庁, 2004)。これは、栄養塩とプランクトン特に珪酸塩と珪藻の豊富な木曾三川起源の水が空港島に遮られ、空港島の上流で西偏するため、カタクチイワシの良質の餌となるコペポーダの空港島西部海域への供給が損なわれ、カタクチイワシの回遊も減少したものと推察される。

このように、空港島と前島建設によって水深5 m以下の広大な浅海域が失われ、また周辺浅海域の流れが弱まって底質の悪化や直上水の貧酸素化が進むとともに、木曾三川の河川水が空港島周辺海域に及び難くなって、漁業資源に悪影響を与えた可能性が高い。

## 5. 結論

第一に、われわれの調査結果と事業者の事前・事後調査結果などに関する考察により、空港島建設以降、周辺浅海域の夏季の底層にDOが $1.4\sim 2.8\text{ mg L}^{-1}$ 以下の底生生物を死に至らしめる貧酸素が発生するようになり、底生生物の種類と個体数が顕著に減少したことが立証された。

第二に、われわれの調査結果、既往データ、既往のシミュレーション結果などに関する考察により、周辺浅海域に発生する貧酸素水塊は、青潮となるような強度なものも含めて、空港島の遮蔽効果によって生ずる潮流の減少が原因であることが立証された。

第三に、空港島周辺海域における既往の環境モニタリングや試験操業データに関する考察により、空港島と建設による三つの要因、すなわち浅海域の喪失、空港島周辺海域における潮流の減少と貧酸素水塊の発生、木曾三川の河川水の西偏による栄養供給の減少が、アサリ、ノリ、マコガレイ、イシガレイ、カタクチイワシなどの漁業資源を減少させた可能性が高いことが立証された。

第四に、この事例から導かれる一般則は、海中の巨大建造物の遮蔽効果によって周辺海域の潮流が弱まると、思いのほか容易に赤潮と貧酸素、底質、底生生物群集、ひいては漁業資源の劣化に至る連鎖が惹起される、ということである。空港島と前島による漁業生物

への影響がさらに広がる懸念もあり、引き続き注視していく必要がある。

なお、付随的結論として、 $^{210}\text{Pb}$ 法を用いた堆積速度の測定により、空港島建設等の工事に伴う底質の変化を検出するためにはモニタリングの感度を上げる必要があり、従来のようにスミス・マッキンタイヤ採泥器を使用して底泥の表面から深さ約 10 cm までを混ぜて分析する方法から、底泥のコアサンプルを例えば 1 cm ごとに層分割して化学分析を行う方法(環境庁水質保全局, 1997)に改める必要があることが確認された。

## 謝 辞

この調査を遂行するにあたり、日間賀島漁業組合、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から多大な協力、援助、助言をいただいた。宇野木 早苗氏には、論文作成にあたり貴重な助言をいただいた。中部大学大学院応用生物学研究科の芳山 陽子、宗宮 麗および環境生物科学科卒研生の皆さんには現場観測およびベントス調査で毎回協力をいただいた。2002 年からプロ・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、それぞれ受けた。これらの団体、個人の方々に記して御礼申し上げる。また、調査を総轄した故西條 八東名古屋大学名誉教授、ならびに漁民の協力と既往資料を得るために尽力された日間賀島住民、故坂口 久己氏に、この論文を捧げる。

## References

- 愛知県企業庁 (1999): 空港対岸部埋立造成事業に関する環境影響評価書資料編, 488 pp.
- 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, 270 pp.
- 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 (調査報告要約), 132 pp.
- 藤永 太郎 (2005): 微量元素で探る, p. 202-203. 海と湖の化学, 京都大学学術出版会.
- 環境庁水質保全局 (1997): 海洋環境モニタリング指針, 財団法人日本海環境協力センター, 109 pp.
- 加藤 真 (1996) 総論: 日本における干潟海岸とそこに生息する底生生物の現状, p. 119-157. WWF Japan サイエンスレポート, Vol. 3.
- 加藤 義久, 岡部 史郎 (1988): 海洋堆積物中の炭酸塩の高精度迅速ガス定量法. 東海大学紀要海洋学部, 27, 1-8.
- Kato, Y., H. Kitazato, M. Shimanaga, T. Nakatsuka, Y. Shirayama and T. Masuzawa (2003):  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$  in sediments from Sagami Bay, Japan: Sedimentation rates and inventories. *Prog. Oceanogr.*, 57, 77-95.
- 菊池 泰二 (1975): 6. 環境指標としての底生動物 (1), p. 255-264. 環境と生物指標 2. -水界編-, 日本生態学会環境問題専門委員会編.
- Lu, X. and E. Matsumoto (2005): Recent sedimentation rates derived from  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$  methods in Ise Bay, Japan. *Estuarine, Coast. Shelf Sci.*, 65, 83-93.
- Matsukawa, Y. and T. Suzuki (1985): Box model analysis of hydrography and behaviour of nitrogen and phosphorus in an eutrophic estuary, Japan. *J. Oceanogr. Soc. Japan*, 41, 407-426.
- 松永 捷司・佐藤 茂之・半田 暢彦 (1986): 伊勢湾沿岸環境調査マニュアル; 底質・生物篇, p. 108-117. 日本海洋学会編, 恒星社厚生閣.
- 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, 349-357.
- 日本水産資源保護協会 (1989): 漁場の適正溶存酸素濃度の検討, p. 931-1003. 漁場環境容量策定事業報告書 (第一分冊).
- Stumm, W. and J. J. Morgan (1981): Aquatic Chemistry, p. 448-450. In Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters, 2nd ed., Wiley Interscience.
- 鈴木 輝明: 貧酸素化, p. 475-479. 沿岸の環境圏, 平野 敏行監修, 株式会社フジ・テクノシステム.
- 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造成事業に関する環境影響評価準備書 (要約書), 269 pp.
- 中部国際空港株式会社・愛知県 (1999): 中部国際空港建設事業及び空港島地域開発用地埋立造成事業に関する環境影響評価書 (要約書), 274 pp.
- 中部国際空港株式会社・愛知県 (2003): 中部国際空港建設事業及び空港島地域開発用地埋立造成事業並びに空港対岸部埋立造成事業に係わる平成 14 年度環境監視結果年報, 442 pp.
- 中部国際空港株式会社・愛知県 (2004): 中部国際空港建設事業及び空港島地域開発用地埋立造成事業並びに空港対岸部埋立造成事業に係わる平成 15 年度環境監視結果年報, 426 pp.
- 中部国際空港株式会社・愛知県 (2004): 中部国際空港建設事業及び空港島地域開発用地埋立造成事業並びに空港対岸部埋立造成事業に係わる平成 15 年度環境監視結果年報, 426 pp.
- 中部国際空港株式会社・愛知県 (2004): 中部国際空港建設事業及び空港島地域開発用地埋立造成事業並びに空港対岸

- 部埋立造成事業に係わる平成 15 年度環境監視結果年報, 426 pp.
- 中部国際空港株式会社・愛知県企業庁 (2002): 平成 13 年度漁業モニタリング調査結果, 382 pp.
- 中部国際空港株式会社・愛知県企業庁 (2003): 平成 14 年度漁業モニタリング調査結果, 515 pp.
- 中部国際空港株式会社・愛知県企業庁 (2004): 平成 15 年度漁業モニタリング調査結果, 533 pp.
- 山路 勇 (1985): 第 13 章 伊勢湾・三河湾, 生物, p. 546-559. 日本全国沿岸海洋誌, 東海大学出版会, 東京都.
- 山路 勇・島田 道子 (1976): 伊勢・三河湾における生物相と汚濁環境との関係, pp. 249-280. 伊勢湾における汚濁物質の循環機構に関する調査報告書, 財団法人産業公害防止協会.

## Degradation of Seawater and Sediment Quality and Benthic Fauna Composition caused by Construction of the Chubu International Airport Island in Ise Bay, Japan.

Saijo Yatsuka<sup>†</sup>, Hisayoshi Terai<sup>‡</sup>, Mariko Nagano<sup>§</sup>, Kazuhiro Ayukawa<sup>¶</sup>,  
Akihiko Yagi<sup>§</sup>, Maki Umemura<sup>§</sup>, Yoshihisa Kato<sup>||</sup>, Motohiro Kawase<sup>\*\*</sup>,  
Katsuyuki Sasaki<sup>††</sup>, and Yasuo Matsukawa<sup>‡‡</sup>

### Abstract

In order to investigate the impact on the marine environment from the construction of the Chubu International Airport Island in Ise Bay, Japan, we have observed profiles of seawater temperature, salinity, dissolved oxygen, chlorophyll-a and chemical compounds of the bottom sediment in the neritic region around the island during the stratification period between October of 2002 to October of 2005. We've also begun continuous observation of water level, temperature, salinity, dissolved oxygen of the overlying water, and the composition of benthic fauna at stations halfway between the airport island and the opposite shore during the stratification period in April of 2007. The deposition rate of bottom sediment were estimated to be  $0.5 \text{ cm y}^{-1}$  by applying the  $^{210}\text{Pb}$  method to the bottom sediment cores sampled at stations in the surrounding area. The observed data were compared with the reported data obtained before the construction of the airport island. Results and discussions confirmed that the degradation of benthic mollusks composition and the bottom sediment quality began to occur together with prevailing anoxic water in the stratified season after the construction of the island. It was also confirmed that the anoxic water, and possibly the heavy red tide in conjunction with excessive sedimentation of silt, clay and organic compounds, started to occur in the surrounding area caused by the weakening of tidal flows and estuarine circulation, both due to the collision of flows by the airport island. Furthermore, the occurrence of anoxia in the bottom water and the collision of the surface waters from the three rivers containing rich nutrient salts, especially silicate and diatoms by the airport island, along with the loss of an oxygen rich neritic region of 5 m deep or less due to the construction, most likely degraded fisheries resources such as Manila clam, laver algae, flat fishes and anchovy larva in the surrounding area. Finally, it has been incidentally confirmed that the prior method of bottom sediment survey; mixing the 10 cm deep section of the bottom sediment, must be replaced to a new method of dividing the bottom core samples into 1 cm slices.

**Key words:** Coastal marine environment, airport island construction, anoxic water, sediment quality, benthic fauna, sedimentation rate

(Received 12 November 2007; accepted 12 March 2008)  
(Copyright by the Oceanographic Society of Japan, 2008)

<sup>†</sup> Shinjuku 2-247, Meito-ku, Nagoya 465-0063, Japan. (deceased)

<sup>‡</sup> College of Bioscience & Biotechnology, Chubu University, Matsumotocho 1200, Kasugai 487-8501, Japan.

<sup>§</sup> Department of Engineering, Aichi Institute of Technology, Yachikusa 1247, Yakusacho, Toyota 470-0392, Japan.

<sup>¶</sup> Department of General Science and Technology, Shimane University, Nishikaawazucho 1060, Matsue 960-8504, Japan.

<sup>||</sup> School of Marine Science and Technology, Tokai University, Orido 3-20-1, Shimizu-ku, Shizuoka 424-8610, Japan.

<sup>\*\*</sup> Department of Human Science, Aichi Mizuho University, Namiwa 86-1, Hiradobashicho, Toyota 470-0394, Japan.

<sup>††</sup> Nishi 23jo 1-15-422, Minami 7jo, Chuo-ku, Sapporo 064-0807, Japan.

<sup>‡‡</sup> Minamihonjukucho 77-47, Asahi-ku, Yokohama 241-0833, Japan.