

(53) 博多湾における生物生息適性地の評価

熊谷 博史^{1*}

¹ 福岡県保健環境研究所 (〒818-0135 福岡県太宰府市大字向佐野 39)

* E-mail: kumagai@fh.es.pref.fukuoka.jp

DO値に基づいて生物生息適性地を判定するモジュールを生態系モデル中に導入し、博多湾における生物生息適性地図を作成することで、経時的・空間的な生物生息適性地の変動を明らかにした。その結果、2001年4月～2002年3月における博多湾の表層は一年を通じて生物生息適域であった。一方で、同時期の博多湾の生物生息不適域は、室見川河口付近の窪地や航路等、周辺の水深に比較して局所的に深くなっている海域の底層に存在し、夏季にその領域が拡大し、冬季に消滅していた。この結果と生物の移動能力から、底層に貧酸素水塊が出現しても、ほとんどの魚類は遊泳力によりDOの豊富な上層へ回避行動をとることが可能であるが、移動能力の劣るベントスは貧酸素水塊の影響を直接受けると推察された。

Key Words : benthos, oxygen-deficient water, ecosystem model, habitat suitability

1. はじめに

平成5年に制定された環境基本法では環境影響評価に関する規定が盛り込まれた。さらに平成6年に策定された第一次環境基本計画では、従来の水質保全に加え、自然浄化能力の回復、生態系の健全性の維持・回復等が重要な課題として挙げられ、これを受けて平成9年には環境影響評価法が制定された。このような背景の下、HEP等¹⁾の手法を用いた、事業対象域における生物生息適性地の定量的評価が実施されている。

一方、博多湾でのDOの連続観測によれば²⁾、博多湾における貧酸素水塊には数日単位以下の時間変動が含まれている。よって、同海域で生物生息地の適性を評価する際には、このようなDOの時間変動を考慮する必要がある。DOの時間変動を考慮せずに生物生息適性地を評価すれば、判定された生物生息不適性地は過小評価されたものとなる。

そこで本研究では、生態系モデルを用いて貧酸素水塊の時間変動を考慮した生物生息適性地を評価する手法を提案する。すなわち、DO値に基づいて生物生息適性地を判定するモジュールを生態系モデル中に導入し、博多湾における生物生息適性地図を作製することで、同湾内の生物生息適性地の経時的・空間的な変動を明らかにする。そしてこの適性地の変動結果より、魚類及びベントスの生息に対してDO変動が如何なる影響を及ぼしうるのかを考察する。

2. 方法

(1) 研究対象域

本研究で対象とした博多湾(図-1)は九州北部に位置し、海の中道と糸島半島により囲まれた袋状の閉鎖性の高い内湾である(表面積134.2km²、閉鎖度指数2.04)。湾内の水深については、湾口の西部海域で10～20m、中部海域で5～10m、湾奥の東部海域で5m以浅と湾奥に向かって浅くなる。湾の中央部には水深14mに浚渫された中央航路および中央航路から分岐する東航路がある。また室見川河口の沖合(愛宕浜沖、百道浜沖)には、水深17～18m程度の2つの窪地が存在している(図-1中の矢印先)。また、博多湾には15の河川が流入してい

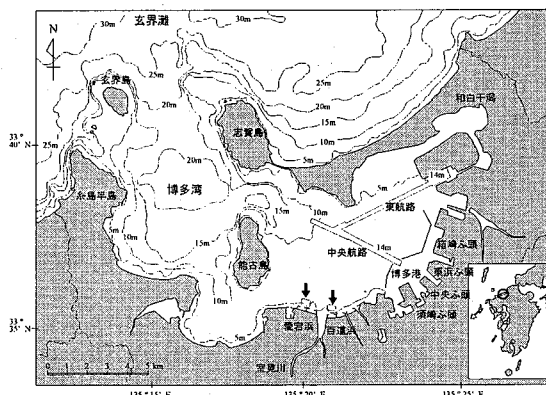


図-1 博多湾の概要

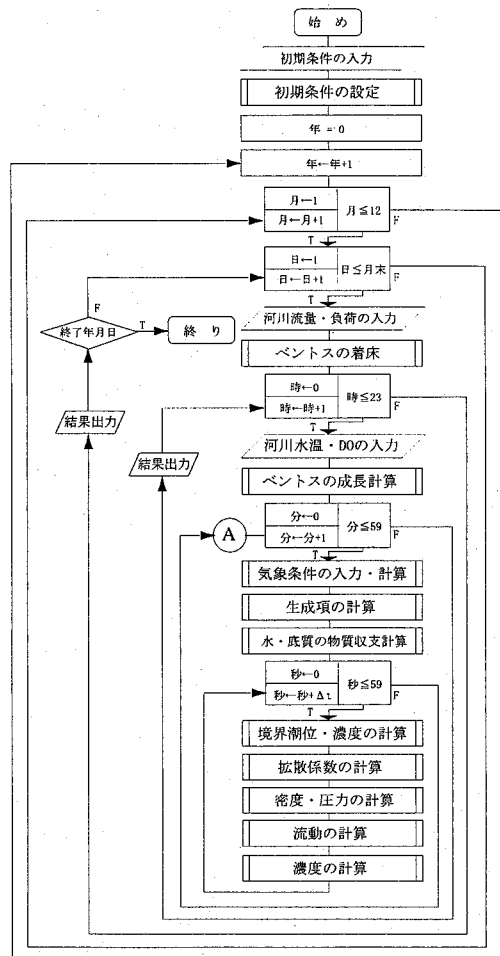
るが、いずれも二級河川や小河川であり、大河川が存在しないため、湾内への流入水は滞留しやすく（滞留日数15.9日）、富栄養化の状況下であり、夏季の湾奥部では貧酸素水塊が発生している。

(2) 使用生態系モデル

本研究で使用した生態系モデルは、水-底質モデルにマクロベントスの生活環を考慮したもの³⁾である。これに後述の生物生息地適性を判定する計算モジュールを付加している（図-2）。モデルでは博多湾の計算領域を、水平方向に600m×600mに、鉛直方向に平均水面下2m,4m,6m,10m,14mの深さで分割した。時間刻みについては水相部分については20秒、底質相については5分、マクロベントスについては1時間とした。すなわち生物生息適性地判定の分解能は、生態系モデルの空間刻みと同一である。

(3) 生物生息適性地判定基準

本研究で判定基準となるDOの生物影響については、過去の研究により、生物種・成長段階毎に臨界濃度や生態影響を及ぼすまでの時間が明らかにされている。その為、本来であれば生物種及びその成長段階毎に判定基準が異なる。一方で従来の知見をもとに、オハイオ河では24時間中の16時間以上はDO $5\text{mg}\cdot\ell^{-1}$ 以上、いかなる時でもDO $3\text{mg}\cdot\ell^{-1}$ 以上というDO濃度と暴露時間を考慮した水質基準が定められている⁴⁾。国内においては、このようなDO濃度と暴露時間を考慮した水質基準は設定されていない為、本研究では生物生息適性地評価基準として同基準を便宜的に採用した。すなわち図-3に示すように、24時間中の16時間以上はDOが $5\text{mg}\cdot\ell^{-1}$ 以上である場合をRank A（生物生息適域）、24時間中DOが $5\text{mg}\cdot\ell^{-1}$ 以上である積算時間が16時間未満である場合をRank B（生物生息危険域）、一時的でもDO



* 図中の (A) が生物生息適正地判定計算モジュール

図-2 生態系モデル中の生物生息適正地判定モジュール

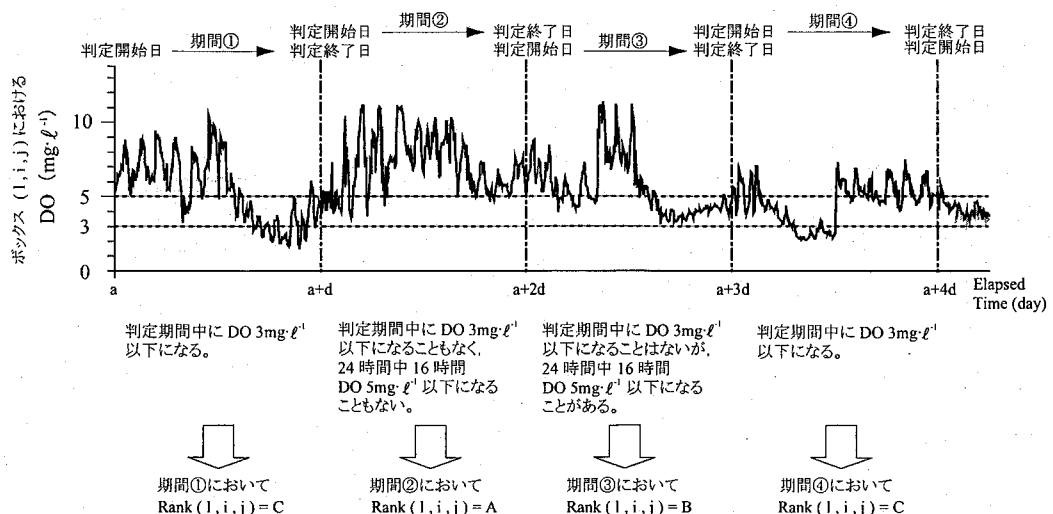


図-3 生物生息適正地判定の概念

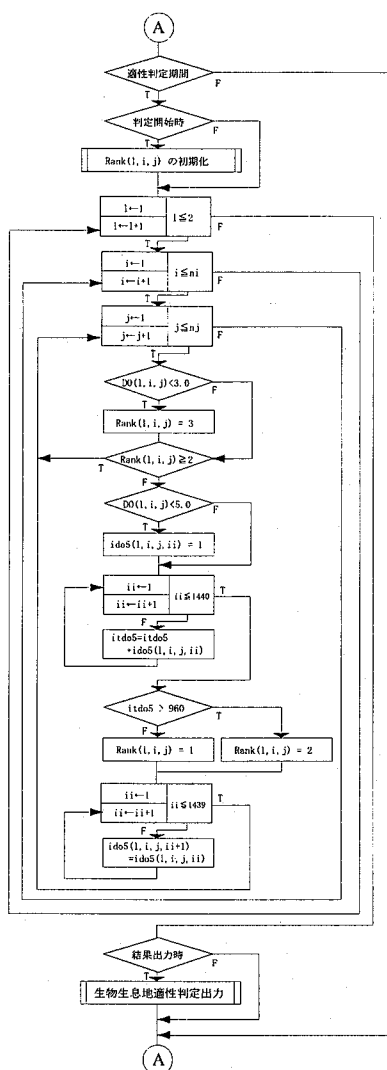


図-4 生物生息適正地判定モジュールの概要

が $3\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 未満であった場合をRank C (生物生息不適域)とした

(4) 生物生息適性地判定方法

前述のように、生物生息適性地の評価の計算モジュールは、生態系モデル中の全体計算において図-2に示すように導入されている。この生物生息適性地計算モジュールの詳細については図-4に示すようになる。

プログラムの実行期間は、博多湾での再現計算²⁾と同じ2001年1月1日から2002年3月31日の454日間とし、潮流と水質が安定する期間を考慮して、2001年4月1日以降のデータを生物生息適性地判定に用いた。

生物生息適性地判定は2種類の基準判定から成り立っている。すなわちDO濃度判定基準と、生物生息が可能な時

間内かを判定する曝露時間判定基準である。Rank A,BからRank Cへの判定には、 $3\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ という濃度判定基準が用いられる。Rank AからRank Bへの判定には、 $5\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ という濃度判定基準と、24時間中の16時間以上という曝露時間判定基準が用いられる。このように生物生息適性地判定には曝露時間判定基準が含まれているために、その判定の際は、少なくとも24時間以上の判定期間を設定する必要がある。今回の生物生息適性地判定では、図-2に示すように、1分ごとに最上層及び最下層のDOを抽出・判定し、指定した日時に出力する。本研究では、1週間(7日)毎にその結果を出力する。判定開始日は2001年4月1日であるので、図-3中の経過時間aが2001年4月1日となり、出力間隔dが7日となる。

判定の具体的な手法を以下に示す。

①判定開始時には、Rank (i,j)を初期化する。ここで、Rank (i,j): i層における座標(j)における生物生息適性指標、ni: 座標iの最大値、nj: 座標jの最大値である。

②計算DOを抽出し、DOが $3\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ であるときRank (i,j)=Cと濃度判定する。

③判定期間中に、一度Rank (i,j)=CあるいはBと判定された場合は、以前の値を適用させるものとし、この値は判定終了日まで持ち越す。すなわち、判定期間中において、指標値が下がることはあるが上がることはない。Rank (i,j)がAからBに下がる可能性がある場合には、次の濃度判定に移る。

④ $5\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 未満であったとき、判定前の1分間は $5\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 未満で一定であったと仮定し、ido5(i,j,ii)=1とする。すなわち1分未満のDO変動は無いと仮定する。ここで、ido5(i,j,ii): 判定時ii分前に $5\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 未満であるかどうかの判別子($5\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 未満: 1, $5\text{mg} \cdot \ell^{-1}$ 以上: 0)である。

⑤判定時から24時間分(1440個)の判別子を積算した値ido5と、16時間分の判別子の積算値960とを比較する(曝露時間判定)。ido5>960であるときRank (i,j)=B, ido5≤960であるときRank (i,j)=Aと判定する。

⑥次回(本研究では1分後)の濃度判定に向けて、1439個の判別子の内容を次回のものに入れ替える。

⑦結果出力時ならRank (i,j)を出力して①に戻る。結果出力時でなければ②に戻り判定を繰り返す。

3. 結果

生物生息適性地計算結果について2001年4月8日から8週間おきに示したものを、表層については図-5に、底層については図-6に示す。

表層については、計算期間を通じて、湾内が一様にRank A (生物生息適域)であった。

一方、底層については、2002年1月6日の一週間前の

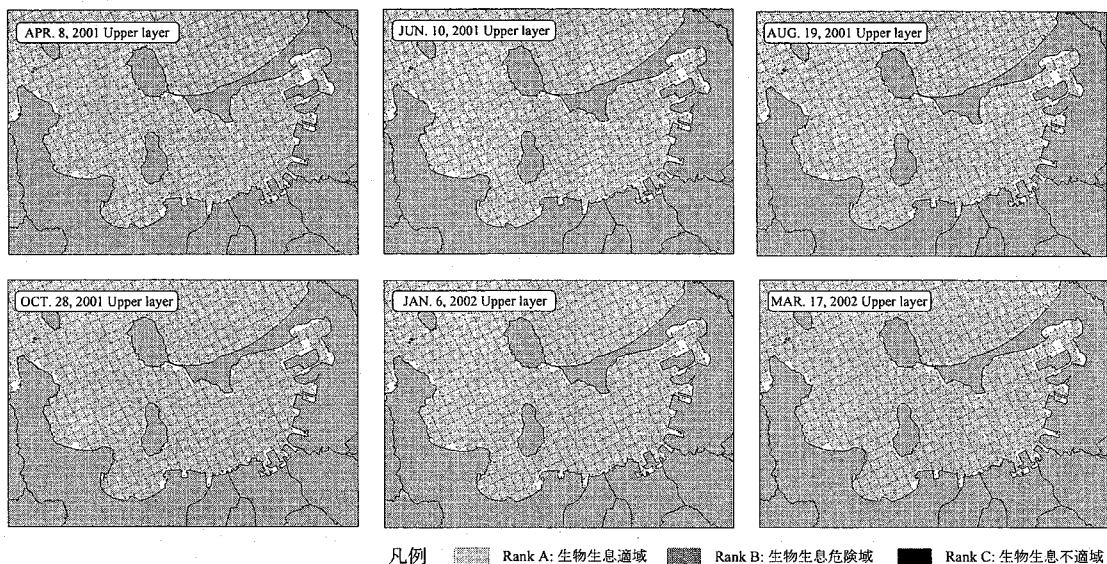


図-5 博多湾表層における生物生息適性地図

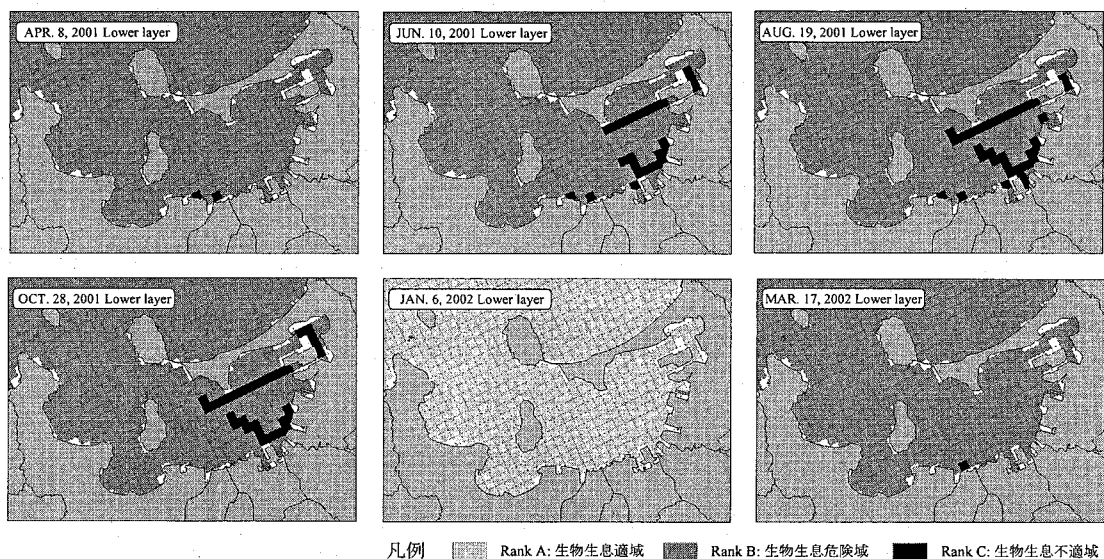


図-6 博多湾底層における生物生息適性地図

期間を除いて、湾内が一様にRank B(生物生息危険域)であり、夏季にはRank C(生物生息不適域)がみられた。以下、この変遷について詳細を述べる。

Rank Cは2001年4月8日の時点で、室見川沖(百道浜、愛宕浜沖)の二カ所の窪地付近においてみられた。その後、2001年6月10日には、これに加え、博多港(須崎ふ頭、東浜ふ頭付近)、東航路、中央航路及び和白干潟周辺がRank Cの領域となり、生物生息不適域が拡大していく様子がわかる。その後、2001年10月28日には、夏季にRank Cであった領域の幾つかがRank Bに回復していた。2002年1月6日には、一様にRank Aに回復した。そして

2002年3月17日には、ほぼ全域がRank Bに低下するとともに、室見川沖の百道浜沖の窪地がRank Cとなっていた。

このように、博多湾の表層については、DOの観点から見ると生息に適しているといえる。これは、夏季では植物プランクトンの増殖の影響でDO過飽和になり、冬季には飽和溶存酸素量が増加しDOも高い濃度で維持されるため、判断基準に達するようなDO低下が生じないためである。その一方で、底層については、夏季では貧酸素水塊の発生に伴うDO低下により生物生息不適域が存在するが、冬季では密度成層が解消され上下間の混合が進むため、生物生息不適域も消滅する。

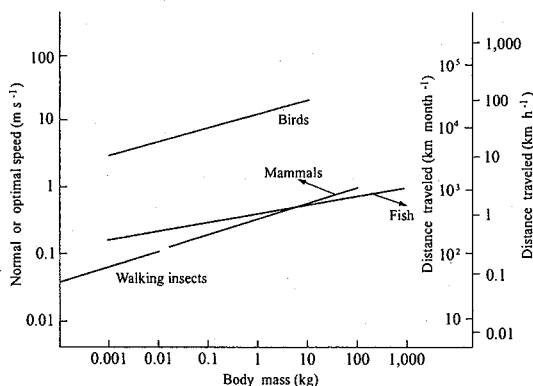


図-7 動物の体質量と移動速度の関係⁵⁾

表-1 魚類の退避時間

W (kg)	V (m·s ⁻¹)	底層から表層への退避時間 (sec)	
		水深 5m	水深 10m
0.001	0.15	32.8	65.6
0.01	0.21	24.0	48.0
0.1	0.29	17.5	35.1
1	0.39	12.8	25.6
10	0.53	9.4	18.7

4. 考察

(1) 生物の貧酸素水塊回避能

博多湾の底層に貧酸素水塊が出現し生息環境が不適域になったとしたときの魚類の挙動について考察する。

魚類が退避行動をとる際の遊泳力は、魚種・成長段階によって大きく異なるため、全ての魚類を一概に評価することは困難である。そこで、ここでは便宜的に Peters の動物の体質量と移動速度の関係⁵⁾ を利用した (図-7)。これによると魚類の移動速度は次のアロメトリー式で表現される⁶⁾。

$$V = 0.39W^{0.136} \quad (1)$$

ここで V : 移動速度 ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), W : 体質量 (kg) である。すなわち、体質量 0.001 ~ 10kg の魚類の移動速度は (1) 式を用いて計算すると表-1 に示すように 0.15 ~ 0.53 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ となる。底層に貧酸素水塊が発生した場合、鉛直方向の対流を無視すれば、5m 水深時の底層の魚類が表層への避難するのに要する時間は 9.4 ~ 32.8s, 10m 水深時の底層の魚類が表層へ避難するのに要する時間は 18.7 ~ 65.6s と算定される。前述の博多湾湾奥部における DO の連続観測²⁾ によると、博多湾での DO の急激な変動は 20 ~ 30min 程度の時間スケールであり、一方で底層の魚類が表層に到達する時間スケールは 1min 程度である。このことから底層の魚類は表層への退避が十分可能であると推察される。しかし、底層付近に生息する移動能力のないベントスについては、こ

の貧酸素水塊から回避するのは不可能であると考えられる。

(2) 生物の回避と適性地

本結果によると水深の大きい底層海域において、春から夏季にかけて生物生息不適域が発生し、そこを中心に生物生息不適域が拡大する様子が確認された。このことから、閉鎖性浅海域の浚渫工事は生物生息地の保全の観点に基づいて施工される必要があることを示唆している。すなわち生物生息地が周辺にあり且つ閉鎖性浅海域内での土砂採取は、貧酸素水塊の発生を招き生物生息不適域を拡大するため好ましくない。

生物生息域保全の観点によれば、貧酸素水塊の発生源の一つであり、特に必要のない室見川沖の窪地については、埋め立てをする必要がある。これらの窪地は、1980年代における周辺沿岸域埋立の土砂採取に伴い生じたものである。将来、同様の埋立計画が推進される際には、コスト面に問題があるが近傍の浅海域浚渫を避けるべきである。同様に、今後、航路等の社会基盤施設を計画する場合にも周辺にある生物生息域を考慮する必要がある。

(3) 生物生息適性値判定の今後の展開

本研究では、生物生息適性の基準としてオハイオ河のものを採用した。本来なら判定対象とする生物種 (魚類、ベントス) や判定対象生物の成長段階に応じて DO への耐性や感受性は変化するため、判定対象の成長段階に毎の判定基準を採用する必要がある。一方で、対象とする生物及びその成長段階が明白であり、その DO 耐性が明らかであるのなら、同じ手法を用いることで対象生物の生息適性地図を作成することが可能となる。その為にも、対象生物の DO 濃度判定基準と曝露時間判定基準が必要不可欠な情報となる。

また今回は生息場の適性の判定として DO のみを考慮したが、他の生物生息に係わる制限物質についても、濃度判定基準と曝露時間判定基準を用いて同様に評価し、考慮する物質分を重畳することで複数の制限物質の影響を考慮した生物生息適性地図が作成可能となる。

5. まとめ

本研究では、生態系モデルに生物生息適性地計算モジュールを組み込むことにより、生物生息適性地の経時的・空間的な変化を明らかにすることが可能となった。本研究で得られた結果より、以下のように結論付けられる。

- ① 2001 年 4 月 ~ 2002 年 3 月における博多湾の表層は、一年を通じて生物生息適域であった。
- ② 2001 年 4 月 ~ 2002 年 3 月における博多湾の生物生息不適域は、室見川河口付近の窪地や航路等、周辺の水深に比較して局所的に深くなっている海域の底層に存在し、夏季

にその領域が拡大していた。

③ほとんどの魚類は底層に貧酸素水塊が発生しても、その遊泳力によりDOの豊富な上層へ回避行動をとることが可能であるが、移動能力の劣るベントスは貧酸素水塊の影響を直接受けると推察された。

④閉鎖性浅海域の浚渫工事は、生物生息地の保全の観点に基づいて実施する必要がある。

参考文献

- 1)北山正文編，環境アセスメントの実施手法 第2版，日刊工業新聞社，2005
- 2)熊谷博史，鯨本健治，楠田哲也：長期連続観測と数値

解析による貧酸素水塊の生成消滅機構の解明，第38回環境工学研究フォーラム講演集，pp.97-99,2001

- 3)熊谷博史，山崎惟義，渡辺亮一，藤田健一：優占二枚貝ホトギスガイが博多湾奥の水・底質に与える影響，水環境学会誌，Vol.29，No.1，pp.21-28,2006

- 4)日本水産資源保護協会：水産用水基準（2000年度版），2000

- 5)Robert Henry Peters：The ecological implications of body size,Cambridge University Press,1983

- 6)Ware,D.M:Bioenergetics of pelagic fish:Theoretical change in swimming speed and ration with weight, Journal of the Fisheries Research Board of Canada 35,220-228,1978

(2006.05.26 受付)

Estimation of Habitat Suitability in Hakata Bay

Hiroshi KUMAGAI¹

¹ Fukuoka Institute of Health and Environmental Sciences

In this paper, a calculation module to determine the habitat suitability based on DO concentration was introduced into an ecosystem model. This was done in order to generate habitat suitability maps of Hakata Bay and reveal the temporal and spatial variations of habitat suitability in the bay.

From the results, it was estimated that the upper water layer of Hakata Bay was a stable zone for habitat suitability from April 2001 to March 2002. On the other hand, in the same period, lethal zones were found in the lowest water layer, such as two hollows near the mouth of Muromi River and the waterways toward the quays, which were locally deeper than the surrounding areas. These lethal zones expanded into the neighboring areas around them in the summer and disappeared in the winter. According to data on animal trafficability, these results indicate that most fish can escape from the oxygen-deficient water to the upper water layer, which has a high DO; however, benthos, which have a low trafficability, are damaged in the lethal zones.