

東京大学 ○佐藤 研三、花木 啓祐、松尾 友矩

## 1. はじめに

地球温暖化に関する研究が進むにつれ、温度上昇と海面上昇が進行することがほぼ確実と考えられている。感潮域は上流側からの河川水の流入と下流側からの海水の侵入によって複雑な様相を呈している場所であり、温度上昇による反応速度の変化や海面上昇に伴う塩分濃度の変化、また降雨形態の変化に伴う流量の変化によって水質に変化が起こることが予想される。その水質の変化する要因を調べるために仮想河川を用いてシュミレートした。

## 2. 計算に用いた河川とその方法

図1のような形状をした感潮河川を考えた。その途中で汚濁物質が流入している。その汚濁物質による影響が温暖化によってどのように変化していくのかを中心として調べた。河川の混合形態は強混合であるものを考えた。

計算方法は、まず下流端の水位と上流端の流量を境界条件として一次元の不定流計算を *leap-frog* 法で行い、そこで得られた結果を用いて塩分とBOD-DO、窒素について移流拡散方程式を用いて計算した。温暖化の影響としては温度上昇、海面上昇、そして流量の変化について、それぞれ条件を変えて計算した。計算に用いた主な条件は表1の通りである。また、水質変化で考えている要素は図2の通りである。

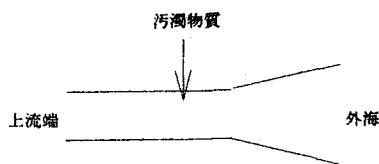


図1 河川の形状

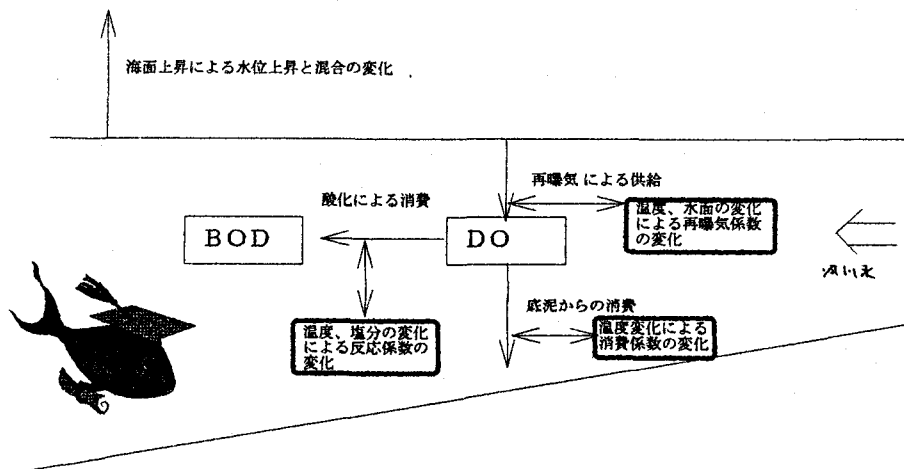


図2 水質変化に対する温暖化の影響

(表1)

|                                                    |                      |         |                      |
|----------------------------------------------------|----------------------|---------|----------------------|
| 上流端の流量                                             | 3m <sup>3</sup> /s   | 水温      | 20℃                  |
| 下流端の水位                                             | 4.5m                 | ボックスの長さ | 750m                 |
| 水位変動                                               | 2m                   | 計算時間間隔  | 60s                  |
| 汚濁物質の流量                                            | 0.4m <sup>3</sup> /s | 拡散係数    | 500m <sup>2</sup> /s |
| 汚濁物質の水質                                            |                      |         |                      |
| ● BOD 100mg/l有機態N 30mg/l NH <sub>4</sub> -N 10mg/l |                      |         |                      |

### 3. 結果

温暖化による水質の変化は次のようにまとめられる。これらは計算によって得られたものの一潮時平均を取ったものである。

#### (1) 温度のみが上昇した場合

溶存酸素が全体的に減少する。減少幅は上流側も下流側も大きな差がなく、1mg/l程度である(グラフ1)。BODや窒素系の変化はほとんどなかった。

#### (2) 海面のみが上昇した場合

塩分濃度が上昇する。濃度が2~10gcl/lの部分で大きく上昇しており、その幅は2gcl/l程度である。

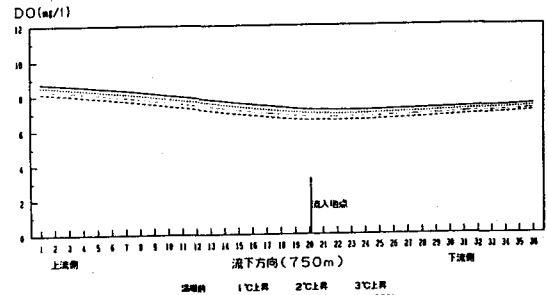
溶存酸素は汚濁物質の流入地点より上流側では僅かながら減少するが、下流側ではほとんど全く変わらない(グラフ2)。BODは汚濁物質の流入地点より上流側では増加しており、下流側では減少している(グラフ3)。窒素系では有機態N、NH<sub>4</sub>-NはBODと同じ様な変化を示している。NO<sub>3</sub>-Nはほとんど変わらない。

#### (3) 温度と海面の両方が上昇した場合

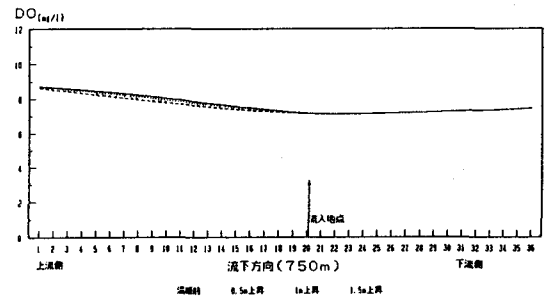
温度、海面の両方が上昇した場合では、溶存酸素以外は海面上昇の時ほとんど変わらない。溶存酸素は減少しているが、その割合は温度上昇の時よりも上流端で大きく、下流端で小さい(グラフ4)。

#### (4) 流量が変化した場合

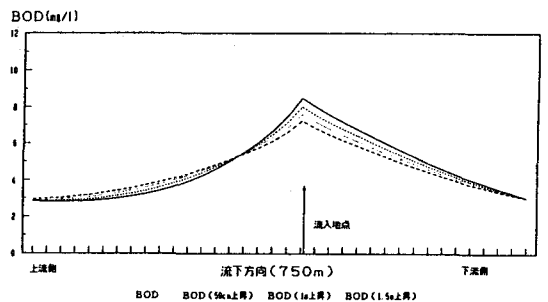
汚濁物質は流量の減少による効果で、流入地点を中心に増加している。DOは流入地点の上流側でやや減少しているが、ほとんど変化はない。



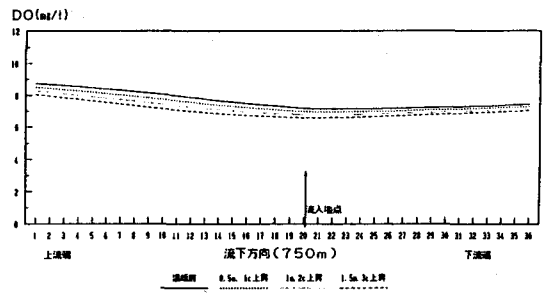
グラフ1 温度上昇に対する溶存酸素濃率の変化



グラフ2 海面上昇による溶存酸素率の変化



グラフ3 温度と海面の両方が上昇するBODの変化



グラフ4 温度上昇と海面上昇の両方に對する溶存酸素濃率の変化

#### 4. 考察

ここではBODとDOが変化した理由について考える。温暖化によってどの因子がどれだけBODとDOに変化を与えたかを、それぞれの因子について感度解析を行って調べた。具体的には、反応係数、再曝気係数、底泥の酸素消費係数が温暖化によってどれだけ変化するかを求め、その一方でそれぞれの係数を独立に変化させたものを比較する。また、海面上昇による水理的な変化の与える影響を見るために反応の諸係数を海面上昇前と同じものにして計算し、比較した。

結果をマトリックスにして示すと次のようになった。

| 係数に与える効果            |          |         | BODに与える効果 |         | DOに与える効果 |  |
|---------------------|----------|---------|-----------|---------|----------|--|
|                     |          | 上 下     | 上 下       | 上 下     |          |  |
| 温度上昇                | 再曝気係数    | (+) (+) | / /       | (+) (+) |          |  |
|                     | 反応係数     | (+) (+) | (-) (-)   | (-) (-) |          |  |
|                     | 底泥での消費係数 | (+) (+) | / /       | (-) (-) |          |  |
|                     | 飽和DO     | - -     | / /       | - -     |          |  |
|                     | 水理的变化    | / /     | / /       | / /     |          |  |
|                     |          | 総合変化    | (-) (-)   | - -     |          |  |
| 海面上昇                | 再曝気係数    | - (-)   | / /       | (-) (-) |          |  |
|                     | 反応係数     | (-) (-) | (+) (+)   | (+) (+) |          |  |
|                     | 底泥での消費係数 | (+) (+) | / /       | (+) (+) |          |  |
|                     | 飽和DO     | (-) (-) | / /       | (-) (-) |          |  |
|                     | 水理的变化    | / /     | + -       | (-) (+) |          |  |
|                     |          | 総合変化    | + -       | (-) 0   |          |  |
| 海面上昇<br>および<br>温度上昇 | 再曝気係数    | - (-)   | / /       | (-) (-) |          |  |
|                     | 反応係数     | (-) (-) | (+) (+)   | (+) (+) |          |  |
|                     | 底泥での消費係数 | (-) (-) | / /       | (+) (+) |          |  |
|                     | 飽和DO     | - -     | / /       | - -     |          |  |
|                     | 水理的变化    | / /     | + -       | (-) (+) |          |  |
|                     |          | 総合変化    | + -       | - -     |          |  |

尚、上、下 は汚濁物質の流入地点よりもそれぞれ上流、下流を表し、+、-は値の増減を示す。また(+)は増加の傾向は示すが影響はほとんど無いことを示す。

温度上昇の場合は飽和溶存酸素の減少が溶存酸素の変化を支配し、また海面上昇の場合は水理的变化による混合の変化がBODの変化を支配している。反応係数の変化に対する水質の影響は大きいのであるが、係数自身の変化が小さいためあまり影響を持たない。再曝気係数や底泥での消費係数は係数に対する水質の影響が小さい。生物化学的な原因よりも、混合の変化や溶存酸素の減少といった物理的な原因のほうが大きな影響を及ぼすようである。

#### 5. まとめ

温暖化による感潮域の水質の影響として、温度上昇によるDOの減少と海面上昇によるBODなどの分布の変化があることが判った。しかし、ここで用いた状況のように、強混合感潮河川で溶存物質が問題の中心になる際には比較的大きな影響を及ぼすことはないといえる。