

# 1.-5

## 中海の水質問題について

京都大学工学部 正員 土井 合 田 健  
山口大学工学部 正員 中 西 弘

### 1. まえがき

中海 97.5  $\text{km}^2$  の干拓と中海、突道湖の残水域約 150  $\text{km}^2$  の淡水化を行ない、もってこの地区の農業振興と用水確保を目的とする中海干拓、淡水化の事業計画が農林省によって進められている。この計画の遂行される過程において、この水系の水質がどのように変化していくかを知ることが、将来この水系に与えられる約 600 万  $\text{m}^3$  の淡水の農業用水、工業用水ならびに上水への利用上きわめて重要である。またこうした淡水化が進められることによって、水質がよくなるか、悪化するかという問題は今後の淡水化事業との関連において水質学上きわめて興味ある話題を提供している。農林省中海干拓事業所においては、土木学会に委託し水理専門委員会を組織し、この事業に関する大規模な水理実験が昭和 42 年度に行なわれてきた。またそれに関連する中海の現況の水質調査が昭和 40 年より同事務所と島根大学によって進められている。このような状況のもとにわれわれも中海の干拓事業にともなう水質の将来について従生工学の立場から関心を示し以下に述べる参考資料に加えて、①本年当初の中海各点の BOD 調査、および②中海沿岸(流域)の人口産業分布と用水量、排水量に関する資料、③中海沿岸都市の汚水処理の現状および将来計画に関する資料、④中海流入河川の水量ならびに水質に関する資料、の収集を中海干拓事業所にお願ひし、これらの資料をもとにして中海の水質汚濁の問題を総合的に検討してみた。もちろん今後収集せねばならない資料、行なわねばならない調査や実験が多く残されているので、この報告はあくまで中間的なものであることを断っておく。

### 参考資料 ① ④ ⑤ ⑥

### 図 I 中海水質の現況 (41.4 ~ 42.3 平均)

中海干拓事業水理研究専門委員会(土木学会資料(1966))

② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿

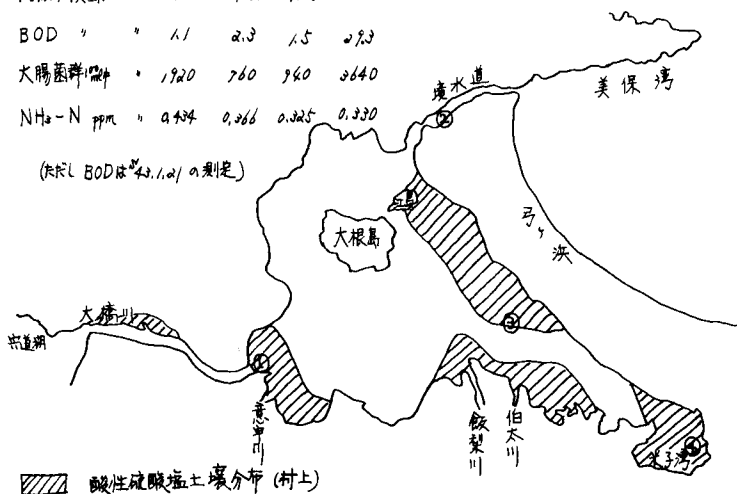
① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿

① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿

① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩ ⑪ ⑫ ⑬ ⑭ ⑮ ⑯ ⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕ ㉖ ㉗ ㉘ ㉙ ㉚ ㉛ ㉜ ㉝ ㉞ ㉟ ㊱ ㊲ ㊳ ㊴ ㊵ ㊶ ㊷ ㊸ ㊹ ㊺ ㊻ ㊼ ㊽ ㊾ ㊿

|                                     | ①     | ②     | ③     | ④     |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| DO 飽和率 %                            | 84.3  | 85.8  | 82.2  | 77.7  |
| DO 欠率 %                             | 76.4  | 82.4  | 53.8  | 69.2  |
| $\text{KMnO}_4$ 消費量 $\text{mg/l}$   | 1.38  | 1.30  | 1.68  | 2.40  |
| BOD $\text{mg/l}$                   | 1.1   | 2.3   | 1.5   | 2.93  |
| 大腸菌群 $\text{100ml}$                 | 1920  | 760   | 960   | 3640  |
| $\text{NH}_4\text{-N}$ $\text{ppm}$ | 0.934 | 0.266 | 0.325 | 0.330 |

(大腸 BOD は 42.1.21 の測定)



および生物環境因子によって支配されている。中海も同様であり、汚濁項目として、 $DO$ 、 $BOD$ 、 $KMnO_4$ 消費量、 $NH_4-N$ 、大腸菌群を採り上げてみると図1となり、米子港内は相当汚濁されているがその他はあまり汚れていない。もっとも中海全体には濁度粒子の巻き上げや富栄養化のきざしがみえるので清澄とはいえない。一方底質では、酸性硫酸塩土壌の分布は米子湾、安来湾、揖屋湾などの入江や大橋川、意宇川、飯梨川、伯太川などの河口付近とろヶ浜半島付近の砂地であり、これらは有機物汚染を受け還元状態が現れた結果、酸性化が促進されたものと推察されている。

ふ)こうした現状について、中海の水理や気象因子からみると、水質変化に關係の深い流速、流向、躍層の位置、安定度および拡散能力に注目せねばならない。中海の平均水深は5.4mであり、一般にこの種の潮流では風による攪乱が深部にまでおよぶ四季を通じて水質が上下均一になりやすい。しかし中海では潮流の影響を受け塩分躍層が2~3mに存在し、それ以上では鉛直混合作用が顕著であるが、それ以下では混合が起りにくいとされている。したがって塩分以外の水質もこの躍層の上下で差異を生じるはずであり、水質成績もその間の事情を示している。流速分布とみれば大橋川から大根島の西側を迂迴して境水道に入る流れが最も明瞭である。一方大根島南側の中海主潮盆では停滞気味で弱い循環流が存し、流速はおおむね $0.1\text{ m/sec}$ 以下を示し、このことからみかケの拡散係数は流れの早いところでは $[10^2]\text{ cm}^2/\text{sec}$ 、停滞気味のところで $[10]$ のオーダーと推定され、もし中海南岸どいに加えられる汚濁物質が増加すれば現状でもこの方面の汚濁は相当問題視されるだろう。

3)現状における中海の主要な汚濁源とみられるのは、米子市、松江市、安来、東出雲町、および境港市であり、まだ調査は十分でない。表1 (1)中海沿岸主要都市の排出BODと処理状況

| 都市名  | 現人口     | 中海への排水量 | 全排水のBOD量      | 汚水処理状況               | 現在排水されているBOD量         | 備考                       |
|------|---------|---------|---------------|----------------------|-----------------------|--------------------------|
| 米子市  | 110,000 | 110,000 | 2,200 ~ 3,300 | 90,000人分の処理          | 1,300 ~ 2,600 (1,850) | 米子1日1人の排水BODは20~40gと推定   |
| 松江市  | 110,000 | 110,000 | 2,200 ~ 3,300 | 88,000人分の処理          | 1,320 ~ 2,640 (1,872) | 松江1日1人の排水BODは20~40gと推定   |
| 安来市  | 30,700  | 30,700  | 614 ~ 921     | 10,000 ~ 15,000人分の処理 | 689 ~ 798 (643)       | 安来1日1人の排水BODは20~40gと推定   |
| 東出雲町 | 9,800   | 9,800   | 76 ~ 114      | —                    | 76 ~ 114 (84)         | 東出雲町1日1人の排水BODは20~40gと推定 |
| 境港市  | 32,000  | 32,000  | 488 ~ 672     | 22,000人分の処理          | 226 ~ 336 (271)       | 境港市1日1人の排水BODは20~40gと推定  |

(2)中海沿岸の主要な事業所の排水量およびBOD濃度の推定

| 事業所名      | 従業員数  | 排水量                 | 排水の種類   | 推定BOD                     | 備考                                           |
|-----------|-------|---------------------|---------|---------------------------|----------------------------------------------|
| 米子と牧場(米子) | 10人   | 25 <sup>kg</sup> /日 | —       | 1,000 ~ 4,000 ppm (2,500) | 排水量と推定BODより概算すれば、中海への排水BODは1,000 ~ 4,000 g/日 |
| 日本冷蔵(〃)   | 30~60 | 不明                  | 野菜の洗水   | 不明                        | また40,210の調査より米子湾に流入するBODと概算すれば260g/日         |
| 米子食糧(〃)   | 22    | 288                 | 鶏処理洗水   | 1,000                     | —                                            |
| かき名産品(〃)  | 15    | 288                 | 洗水      | 500                       | —                                            |
| 原田製パン(〃)  | 50    | 不明                  | —       | 不明                        | —                                            |
| 日立製作所(安来) | 2,000 | —                   | —       | —                         | —                                            |
| 安来及金(〃)   | 2,000 | —                   | —       | —                         | —                                            |
| かき製産店(東松) | 216   | 200                 | 魚の洗水・日湯 | 2,000                     | —                                            |
| 佐藤造材(〃)   | 1,700 | 960                 | リン酸肥料造料 | 不明                        | —                                            |
| 安井鉄工所(〃)  | 230   | 200                 | メッキ廃液   | —                         | —                                            |

4)現在、中海の自浄作用、とくに生物環境因子に関する有用な資料にとぼしいが、過去の調査結果からみると、底層における溶存酸素が夏季50%を割るところが米子湾から大根島に至る中海東部にみられ、一般細菌数も $10^4/\text{ml}$ を越えるところがあり、さらに酸性土壌分布からみて、微生物活動は相当

若荒であると考えられる。もっとも定量的な評価はまだできていない。

5以上統合してみると、中海の現況は米子港内や揖屋湾のように局所的には汚濁が進んでいるところもみられるが全体としてそれほど問題となる段階ではないとみられる。わが国の重要水域ではBOD 3ppmを基準としているが、現状ではこれを越えるところは少ない。

5. 中海の干拓、淡水化後の水質汚濁の動向

表2 米子湾の汚濁の原因となる都市および工場からの汚濁供給量予想

この課題に対して前述のごとく、水理、気象因子、汚濁因子、生物環境因子に分けてみる。

水理因子からみた場合。干拓後は水門操作により塩水躍層が深さ6m以下に押し下げられ、

このため鉛直方向の混合が干拓前より活発になること、流速自

体は現在よりあまり変わらないが平常時にやや増加すること、淡水化が進むと米子湾周辺では塩水が全部排除されること、などが南氏によって報告されている。したがって淡水化後は塩分躍層は消滅し、鉛直方向の作用の増大することにより、流動混合にもとづくしゃく、拡散、酸素供給などの自浄作用も有利に展開するとみられ、水理的には汚濁化の傾向は進まないと考えられる。

2汚濁源の将来からみた場合。米子市の場合を例にとり、米子湾の水質に関係のある都市汚濁源の将来を都市規模や公共下水道整備状況の想定を行なったうえで予想したのが表2である。ここで工場の新增設に関する詳しい資料はないが米子湾地区として表2の約5割増900<sup>kg</sup>/BOD<sub>5</sub>が排出されるものとしておく。いま米子市に5万人規模の下水処理場が完成すれば、②のように現在の米子湾の汚濁は半減するだろう。将来人口が15万人に増加したとしても④のように今より汚濁されることはない。こうしてみると下水道の整備というものが中海の汚濁防止に最も重要な役割を持つ。これに対し④のように人口の増加に対し下水道のない場合には憂慮すべき状態となろう。

3生物環境からみた場合。淡水化にともなう微生物活動の変化、とくに海水性微生物と淡水性微生物との自浄作用に対する役割はいずれが大きいということとは未知の問題である。この問題の手がかりとして海水、淡水、混合水の3種の微生物相に汚濁物質のモデルとしてグルコース、ペプトン、硫酸塩を加えた場合の細菌数の変化や代謝生成物の変化を追跡した松本氏の実験結果よりみれば、海水においてや微生物活動が活発と認められるが、3者の間に有意の差はなく、淡水化においても生物学的な自浄作用にはあまり変化がないという見込みである。

4その他、干拓工事にともなう一時的に土砂による汚濁も注意しなければならない。これは一般的水質汚濁と区別されるが、資源生物の消長、プランクトンの生産などに影響がある。

4. 今後の課題 以上、中海の干拓、淡水化事業と水質汚濁について現在までの資料をもとにして概率的に展望したが、水質汚濁防止の第一は汚濁物質の流入阻止、下水道の整備にあることは明らである。同時に現在の中海の自浄作用と淡水化による自浄作用の変化、とくに微生物活動の面からの把握が重要である。

| 状 況                                              | 人口   | 1日排水BOD量                 | 1日排水BOD量(仮処理は減)      | 下水処理場の減                | 予想排水BOD                |
|--------------------------------------------------|------|--------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|
| ① 現 在                                            | 11万人 | * 3,350 <sup>kg</sup> /日 | 900 <sup>kg</sup> /日 | —                      | 2,450 <sup>kg</sup> /日 |
| ② 人口現在と同じ<br>能力5万人の下水処理場は工場排水の50%処理<br>5万人分は未処理  | 11万人 | 3,350 <sup>kg</sup>      | 600 <sup>kg</sup>    | 1,095 <sup>kg</sup> /日 | 1,355 <sup>kg</sup> /日 |
| ③ 人口5万人に増<br>能力5万人の下水処理場は工場排水の50%処理<br>10万人分は未処理 | 15万人 | ** 4,650 <sup>kg</sup>   | 1,000 <sup>kg</sup>  | 1,630 <sup>kg</sup>    | 2,020 <sup>kg</sup>    |
| ④ 人口5万人に増<br>下水処理場なし<br>10万人分は未処理                | 15万人 | 4,650 <sup>kg</sup>      | 1,000 <sup>kg</sup>  | —                      | 3,650 <sup>kg</sup>    |

備考 下水処理は活性汚泥法としBOD除去率を90%とする。

$$* 2.5 \times 11 \times 118 \text{人} + 600 \text{kg} = 3,350 \text{kg}$$

$$** 2.5 \times 15 \times 158 \text{人} + 1,000 \text{kg} = 4,650 \text{kg}$$