

# 阿蘇海の水質特性

四藏茂雄<sup>1</sup>

要旨：阿蘇海の水質特性を京都府が公表しているデータを利用して分析した。その結果、(1)4か所の観測地点のうち野田川流入点は他と異なる特性があること、(2)いずれの測点においても表層と底層に異なる特性があること、(3)阿蘇海表層の水質の季節変化は、植物プランクトンによる光合成強度の変化によって説明できること、(4)野田川流入水のCODは経年的に減少傾向にあるが、阿蘇海内はほぼ全面的に上昇傾向にあること、(5)いずれの測点においても、底層の溶存酸素(DO)は増加傾向にあること、等を明らかにした。阿蘇海の水質改善には野田川流入水がもたらす負荷、ならびに底泥からの溶出負荷の削減が必要であることを指摘した。

キーワード：阿蘇海、天橋立、富栄養化、公共用水域水質測定結果、統計解析

## 1. はじめに

宮津湾は、京都府の北部、日本海に突き出した丹後半島の東部根元に深く入り込んだ海域である(Fig. 1 参照)。その宮津湾の最奥部に天橋立がある。天橋立は南北に伸びる砂州を成し、西側海域を宮津湾から隔離している。本研究が対象とする阿蘇海がそれである。天橋立は日本三景に数えられるほどの景勝地であり通年多くの観光客が訪れ、地元では世界遺産登録に向けた取り組みも活発である。しかし、天橋立を光とするなら、阿蘇海はその影になろうか。

阿蘇海では古くから水質汚濁が問題とされてきた。貧酸素水塊の発生と有機底泥(いわゆるヘドロ)の存在は、今日の阿蘇海の水質現象を表す代表的な特性であるが、吉村は昭和12年(1937年)にこのことを既に指摘している<sup>1)</sup>。宮地らが苦潮(底層貧酸素水塊の上昇)とそれに伴う魚類の斃死について報告したのが、昭和24年(1949年)である<sup>2)</sup>。その後も、研究者による調査が行われ

ている<sup>3)~10)</sup>。筆者らもこれまで定期的に、水質調査、底泥調査を行っている<sup>11)</sup>。

一方、改善の試みも進められてきた。流入負荷の削減を図るため処理施設の整備も進められてきた。今日、流域内の下水道普及率は96%にまで進展している<sup>12)</sup>。また、阿蘇海水の宮津湾への流出を促すための流水路工事や、有機底泥に対する大規模覆砂工事といった対策も実施されている<sup>13)</sup>。しかし、残念ではあるが、阿蘇海の水質は改善されることなく今日に至っている。

Fig. 2は環境基準の達成状況を表している。CODと全窒素(T-N)は、いずれも環境基準を超過し、全リン(T-P)も超過ぎみである。このような水質環境は、植物プランクトンの著しい増殖、透明度の低下、悪臭の発生等を伴う、いわゆる富栄養化現象を呈して、阿蘇海の価値を著しく棄損している。

阿蘇海を白砂青松の天橋立と対を成す空間とするためには、どうすればよいのか。この古くて新しい課題に取り組むにあたって、本研究では、まず阿蘇海が示す症状の解析から始めたいと思う。阿蘇海の水質特性を検討することによって、改善のためのヒント・知見を掘り出し、将来の改善策に繋げたい。これが本研究のねらいである。

本稿では、公的機関の提供データに基づき、阿蘇海水質の、(1)空間特性、(2)季節変化特性、(3)経年変化特性、に着目し分析を行った。その結果、特筆すべき幾つかの知見を得た。また、これまでに報告されていない興味深い現象を確認した。本稿では、以上について報告する。



Fig. 1 Asokai location

1 舞鶴工業高等専門学校 建設システム工学科教授

## 2. 研究方法

### 2.1 分析用データ

分析用データとして、京都府が実施している「公用水域水質測定結果」の平成 15 年度～26 年度版を利用する<sup>14)</sup>。阿蘇海では、(1)野田川流入点、(2)阿蘇海中央、(3)溝尻地先の 3 つの環境基準点に加え、(4)文殊地先の合計 4 地点で水質調査が実施されている (Fig. 3 参照)。水深方向には、(a)水面下 0.5m (以後、表層という)、(b)水面下 2m (以後、中層という)、(c)海底から 1m 程度 (以後、底層という) の 3 か所で測定されている。測定されている水質指標は Table 1 に示す通りである。主要な指標である COD, PH, DO, 水温について年 12 回、全窒素 (T-N) と全リン (T-P) は表層と底層において、それぞれ年 6 回、その他の指標については、表層において年 2~4 回測定されている。年 12 回計測されているデータの場合、その数は 12 年間でおよそ 144 個となる。なお、亜硝酸態窒素 (NO<sub>2</sub>-N) は、ほぼ全てのデータが 0.01 以下となっているため分析には利用しなかった。

### 2.2 分析方法

入手した水質データについて、空間特性を把握するため、測定地点毎、水深毎の平均値を求め比較した。また、主要な水質指標については季節毎に整理しその変化を把握した。季節区分は、1~3 月を冬、4~6 月を春、7~9 月を夏、10~12 月を秋として解析した。比較対象のデータに有意な違いがあるか否かについては、平均値の差の検定 (Welch の t 検定) を行った。さらに、経年変化を見るためデータを時系列に整理し、Mann-Kendall 検定によるトレンドの検出を試みた (補注 1)。この分析には統計ソフト Past を使った。また、時間を変数とする回帰分析を行い、得られた回帰係数の t 値からトレンドの有無を検証した。

### 3. 阿蘇海の地形と水理

結果の報告に入る前に、阿蘇海の水質現象を理解する上での参考とするため、地形ならびに水理特性について簡単に述べておきたい。

阿蘇海は、Fig. 1 に見るよう宮津湾という閉鎖性水域の中にある閉鎖性水域である。主要な流入河川は、阿蘇海西側から流入している野田川である。野田川河口部には砂州が形成されている。宮

津湾への流出は、文殊の切戸および文殊水道と呼ばれる狭い開口部を通じて行われている。

阿蘇海を完全混合槽と見なして、野田川の晴天

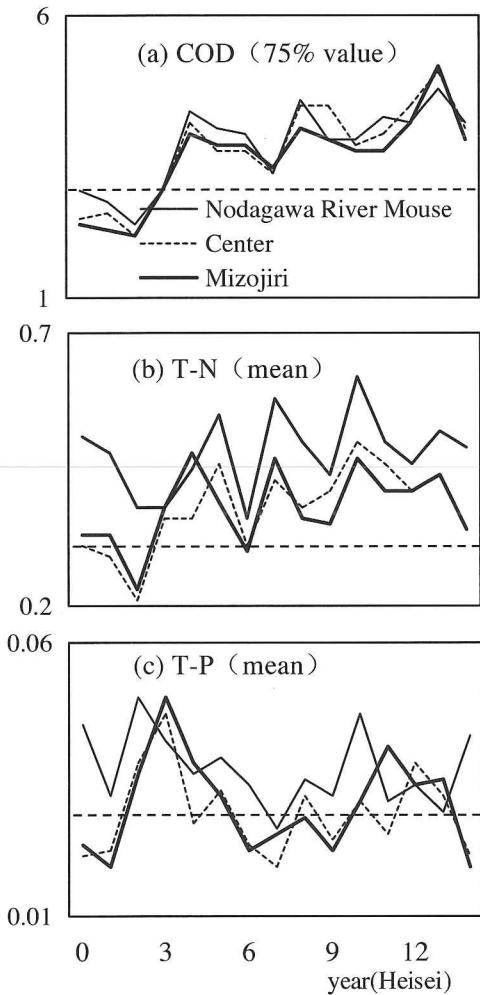


Fig. 2 Transition of water quality indicators as compared to the standards

#### Monitoring point

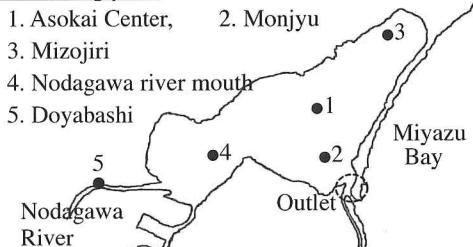


Fig. 3 Monitoring points

Table 1 Measurement frequency (times/year)

	BOD	COD	T-N	NO <sub>3</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NH <sub>3</sub> -N	T-P	Inorg-P	PH	DO	Chl-a	Temp
Nodagawa River	12	12	4	3	3	2	4	2	12	12	—	12
Asokai	—	12/12/12	6/0/6	3/0/0	3/0/0	2/0/0	6/0/6	2/0/0	12/12/12	12/12/12	4/0/0	12/12/12

Observation is conducted at depth of 0.5m/2m/near bottom in Asokai. 0(zero) means no observation.

時流量から晴天時の、年間降水量から雨天時の滞留時間を計算すると、それぞれ 202 日、63 日となる補注 2). 上田等は阿蘇海と宮津湾の海水の交換は、1 潮汐当たり阿蘇海内全海水量の約 1%と報告している<sup>15)</sup>.

阿蘇海の水深は、中央部で 13m を超える。溝尻と文殊地先が 10m 程度、野田川流入点は 6m 程度である。

## 4. 結果

### 4.1 水質の空間特性

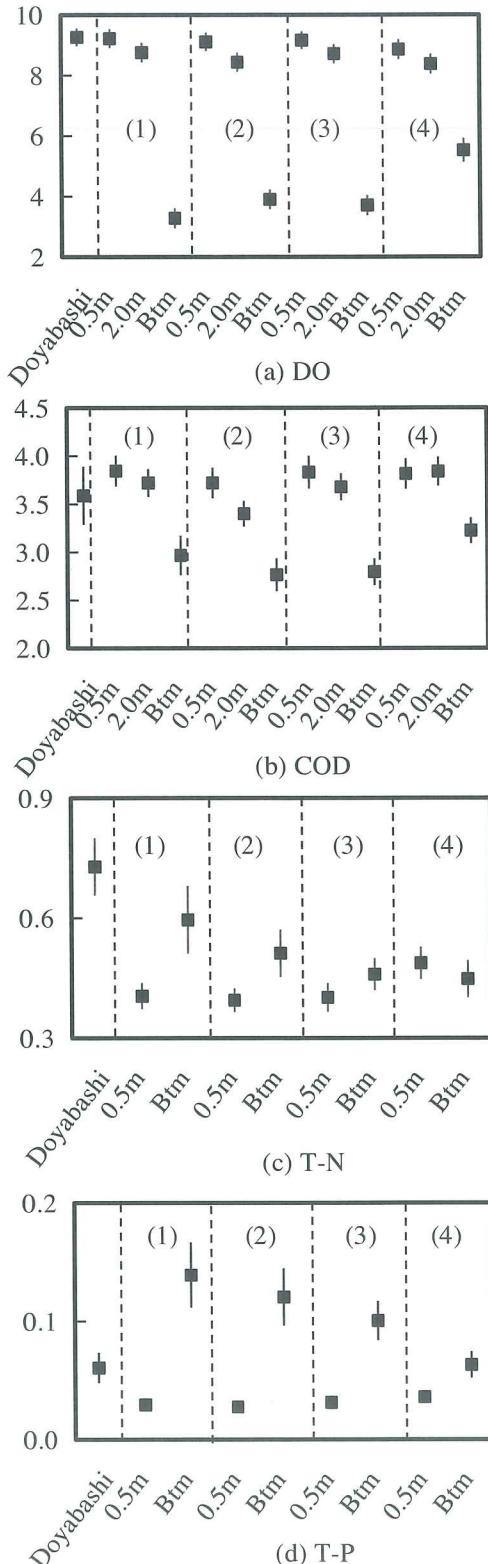
Fig. 4 は主な水質指標の全期間に渡る平均値とその信頼区間を示している。DO から順番に観ていく。大きな特徴は、底層 DO が著しく低いということである。これは、阿蘇海海底に堆積した有機底泥が影響しているものと思われる。野田川流入点の DO が他の 3 点に比べ有意に高いのは、この地点の水深が浅く、野田川流入水が持つ高 DO の影響を受けているためではないかと思われる。ちなみに、我々が行った夏季調査では、阿蘇海の水深 5m 程度以深は、一部区域を除いて全面的に DO がゼロとなっていることが確認されている（未発表）。

COD を見ると、野田川流入水（堂谷橋）は、阿蘇海の環境基準値 3.0mg/l を平均的に超えていることがわかる。阿蘇海表層は、いずれの地点も野田川流入水と同程度であり、観測地点間に差はない。底層はいずれの地点も表層よりかなり低くなっている。野田川流入点底層 COD は、他の 3 点より有意に高くなっている。野田川流入水（高濃度 COD）の影響を受けているためではないかと思われる。

T-N については、野田川流入水は、阿蘇海の環境基準値の 2 倍をはるかに超えるレベルにあることがわかる。一方、阿蘇海表層は、全ての地点で環境基準値を超えており、野田川流入水よりはかなり低くなっている。底層を見ると、野田川流入点以外は表層より有意に高い。これは、有機底泥の影響ではないかと思われる。野田川流入点の T-N が高いのは、やはり野田川流入水の影響と思われる。

T-P については、T-N と同様の特徴が見られる。すなわち、野田川流入水は、阿蘇海環境基準値の 2 倍を超えており、阿蘇海表層は、全ての地点で環境基準値と同等か若干高いこと、底層は全ての地点で表層より高いこと、野田川流入点は他の地点とは有意な差があること等である。Fig. 5 は、野田川流入水（堂谷橋）と阿蘇海表層における窒素の構成を示している。野田川流入水のおよそ 5 割は硝酸態窒素であるが、阿蘇海ではほとんどが

有機態窒素になっている。阿蘇海で無機態窒素が少ないので、これらが優先的に一次生産に使われるためではないかと思われる。



(1) Center, (2) Monjuu, (3) Mizojiri,  
(4) Nodagawa river mouth, Btm: Bottom

Fig. 4 Water quality indicators  
(mean and 95% conf. interval )

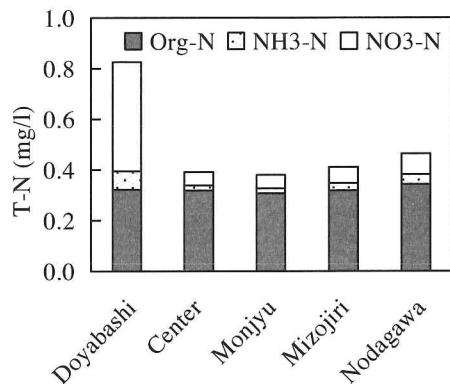


Fig. 5 Composition of T-N  
(Water depth of 0.5m)

#### 4. 2 季節変化特性

阿蘇海水質の季節変化特性を見る。Table 2 に水温、Fig. 6 (a)～(f)にその他の水質指標の季節変化を示す。Table 2 より、水温には以下の特徴が認められる。(1)夏に表層水温はおよそ 27°C、底層も 20°C を超える高温になる、(2)底層水温は、秋においてもあまり低下せず、冬でも 10°C を超えている、(3)春と夏は表層の方が高いが、秋と冬は逆転する、(4)表層と底層の温度差は、春と秋に小さくなる、(5)野田川流入点の表層と底層の温度差は、概ね他の地点に比べ小さい。

(1)及び(2)は、阿蘇海内の生化学反応の促進に寄与しているものと思慮される。(4)は春と秋に鉛直循環が強くなることを示唆している。(5)はこの地点が野田川河口に近く野田川流入水の影響を受けやすいこと、水深が浅いため表層底層の均一化が生じやすいこと等が影響しているためではないかと思われる。このことは PH についても確認できる。野田川流入点の表層と底層の PH の差は、年間を通して他の地点のものに比べると有意に小さくなっている（補注 3）。

Fig. 6 (a)は、上から表層 (0.5m)、中層 (2.0m)、底層 (Bottom) の DO について、地点毎の季節変化を見ている。表層 DO は春から秋にかけては同定度であるが、水温の低下する冬に上昇する傾向が認められる。中層 DO も冬に上昇するが、春、夏、秋の変動は表層より大きい。表層及び中層のグラフ領域にある白丸は、水温と塩分濃度から求まる飽和濃度である。秋の野田川流入点は、例外的に過飽和ではないが、阿蘇海表層・中層は、年間を通して全面的に過飽和になっている。このことは、表層近くで光合成が活発に行われていることを示唆している。

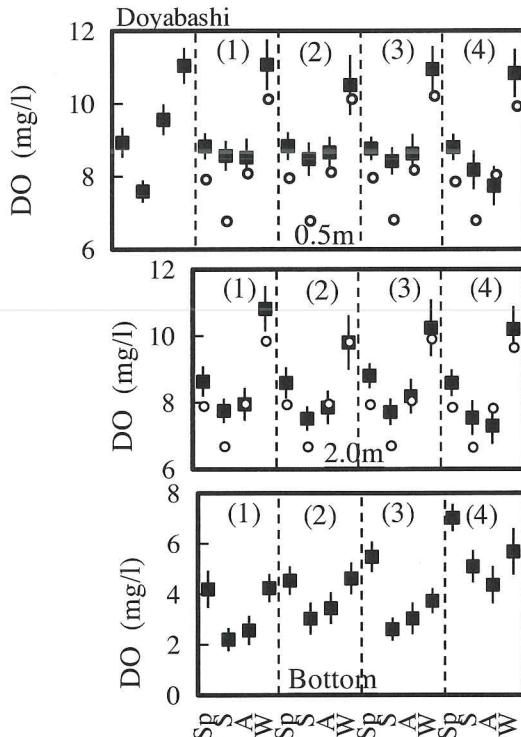
底層 DO は春と冬に高く、水温の高い夏と秋に低くなっている。両者の差は概ね 1% もしくは 5% で有意である。水温の上昇は、底泥からの有機物

等の溶出を促進する。溶出した有機物等の分解反応は、DO があれば酸化的に進む。このことが夏と秋の DO の低下に寄与している可能性が高い。

Table 2 Seasonal change of temperature (°C)

	(1)	(2)	(3)	(4)
Top	18.3	18.1	18.0	18.7
Spr.	15.4	15.5	15.8	16.6
Dif.	2.9	2.6	2.1	2.1
Sum.	27.0	26.9	26.6	26.8
Btm	20.9	22.2	22.8	25.6
Dif.	6.1	4.7	3.9	1.2
Top	17.3	17.1	16.8	17.6
Aut.	19.1	19.0	19.5	19.7
Dif.	-1.8	-1.9	-2.7	-2.1
Top	7.7	7.7	7.4	8.5
Win.	12.3	11.8	12.4	11.8
Dif.	-4.6	-4.1	-5.0	-3.4

(1)Center, (2)Monjuu, (3)Mizojiri,  
(4)Nodagawa river mouth,  
Btm:Bottom, Top:0.5m, Dif.:difference

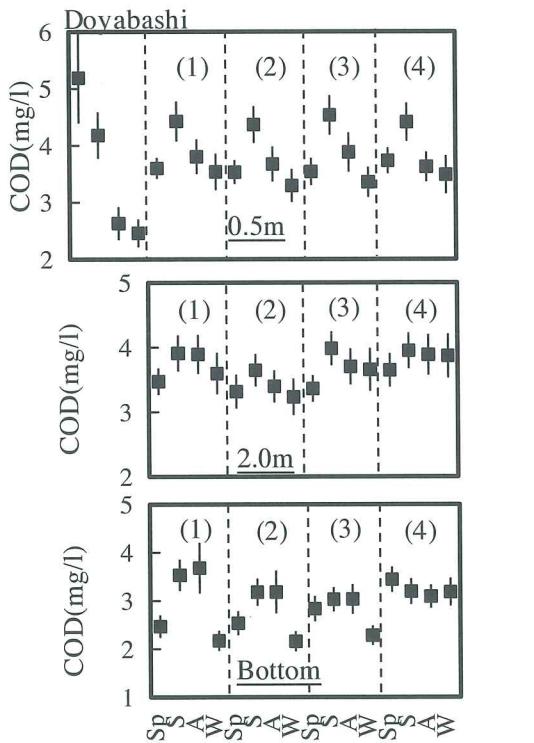


(1)Center, (2)Monjuu, (3)Mizojiri,  
(4)Nodagawa river mouth,  
Sp: Spring, S: Summer, A: Autumn, W: Winter,

Fig. 6 (a) Seasonal change of water quality indicators DO

野田川流入点底層DOが他の3点より有意に高いのは、上で述べたこの地点の特性によるものであろう。

Fig. 6 (b)はCODの、Fig. 6 (c)は表層クロロフィルaの季節変化を表している。野田川流入水のCODは、春が最も高く冬にかけて低下し、秋と冬には阿蘇海環境基準値3mg/lを下回っている。後述するがT-N, T-Pも春と夏に高くなる。この理由は断定はできないが、阿蘇海流域の季節的なイベント、例えば、施肥に伴う農地からの負荷や雪解け水が持つ負荷等が関係しているものと思われる。



(1)Center, (2)Monjuu, (3)Mizojiri,  
(4)Nodagawa river mouth,  
Sp: Spring, S: Summer, A: Autumn, W: Winter,

Fig. 6 (b) Seasonal change of water quality indicators COD

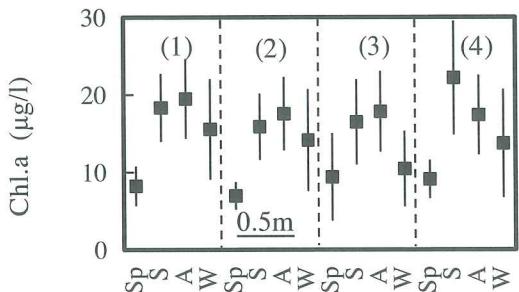


Fig. 6 (c) Seasonal change of water quality indicators Chl.a

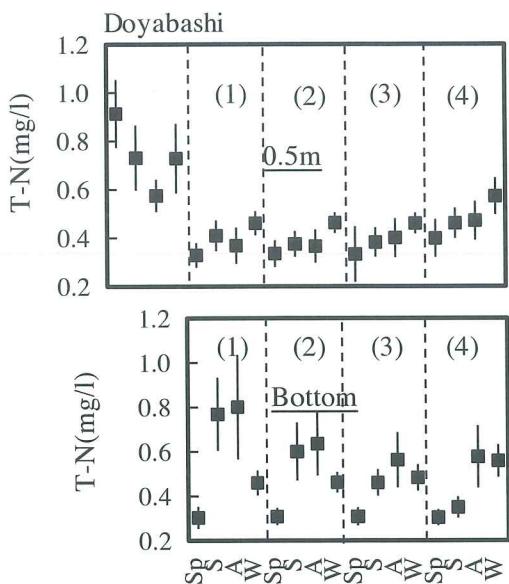


Fig. 6 (d) Seasonal change of water quality indicators T-N

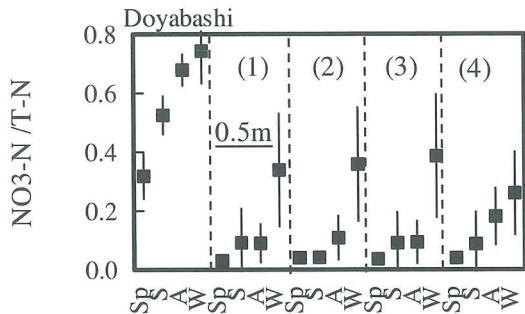


Fig. 6 (e) Seasonal change of water quality indicators NO3-N/T-N

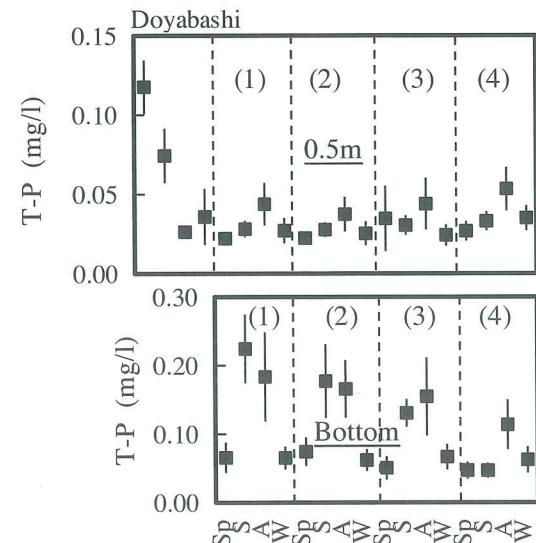


Fig. 6 (f) Seasonal change of water quality indicators T-P

阿蘇海表層と中層では、年間を通して3mg/lを超えており、夏が最も高く冬に低下する(1%有意)。クロロフィルaを見ると、春が低く、夏と秋に高い傾向が認められる(全ての地点で1%もしくは5%有意)。水温が高く植物プランクトンの増加する夏に一次生産が活発化し、このことがCODの上昇に寄与しているものであろう。底層のCODが、夏と秋に中央、文殊、溝尻で高くなっているのは、上層から沈降してくる有機物が増加することに加え、夏と秋の高温期に底泥から溶出する有機物が増加するためではないかと思われる。野田川流入点底層では、有意な季節変化が認められないのは、既に述べたように、この地点の特性によるものであろう。

Fig. 6 (d)はT-Nの、Fig. 6 (e)はNO<sub>3</sub>-N/T-N比の季節変化を表している。野田川流入水のT-Nは、先に述べたように極めて高いが、季節変化を見ると、春、夏、冬に高くなっている。NO<sub>3</sub>-N/T-N比は、春は30%程度であったのが冬には70%を超えるレベルになっている。堂谷橋までの流達過程における硝化反応が、夏・秋より水温が低下する冬に進むとは考えにくいため、阿蘇海流域には窒素排出構造に季節的な変化があるものと思われる。

一方、阿蘇海表層のT-Nも冬に上昇している。表層のNO<sub>3</sub>-N/T-N比は、春から秋は10%未満であるのに対し、冬には30%を超えており、これは、NO<sub>3</sub>-N濃度の高い野田川流入水の影響の他に、冬の水温低下に伴ってNO<sub>3</sub>-Nが光合成に利用されないで余剰となっている可能性も考えられる。底泥から溶出する成分のT-Nへの影響は、夏と秋の、特に中央と文殊で認められる。冬の底層T-Nは、いずれの地点も春に比べて有意に高くなっている。これは、濃度の高い表層水の影響が底層に及んでいるためではないかと思われる。

Fig. 6 (f)はT-Pの季節変化を表している。野田川

流入水のT-Pは、春と夏に特に高くなっている。阿蘇海表層T-Pは、秋に高い(溝尻以外は有意)。これは、高濃度の底層水が影響しているものと思われる。底層のT-Pは、水温の高い夏と秋に高くなっている。

Table 3は、阿蘇海表層の無機性窒素(NH<sub>3</sub>-NとNO<sub>3</sub>-N)と無機性リンの比率を表している。中央と文殊では秋に、溝尻では春と秋に、レッドフィールド比N/P=7(重量比)を割り込んでいる。これより、中央と文殊は、春はリン制限、秋は窒素制限、溝尻は春も秋も窒素制限、野田川流入点は春も秋もリン制限になっていることがわかる。中央、文殊、溝尻では、秋に表層でリン濃度が高いのは、窒素が不足していることが一因として考えられる。

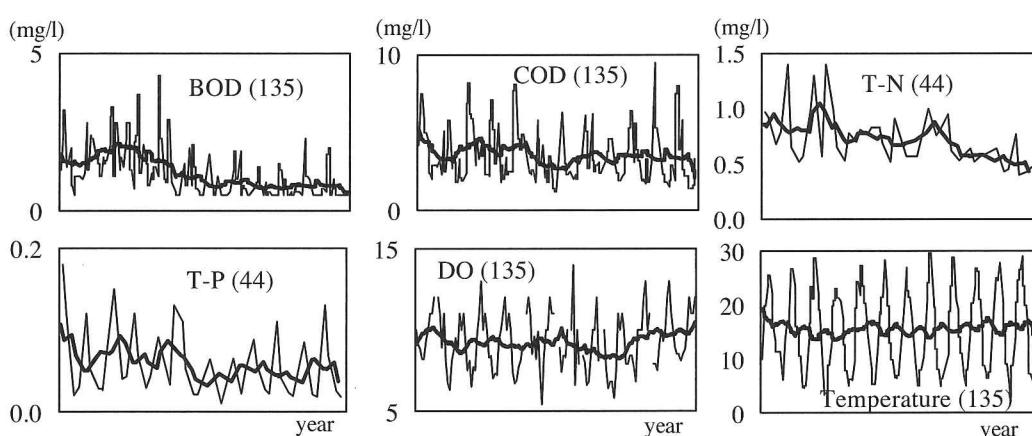
Table 3 N/P Ratio (Inorg-N/ Inorg-P)

Doyaba shi	(1)	(2)	(3)	(4)
Spring	7.9	8.3	9.7	6.9
Autumn	23.9	3.7	5.3	5.1

(1)Center, (2)Monjyu, (3)Mizojiri,  
(4)Nodagawa river mouth,

#### 4.3 経年変化特性

データ(平成15年4月～27年3月)を時系列に整理し、傾向変動の検出を試みた。例として、野田川(堂谷橋)の主要な水質指標の推移をFig. 7にまとめた。太線は12か月移動平均である。野田川のBOD、COD、T-N、T-Pはいずれも変動を繰り返しているが、傾向的には減少しているように見える。傾向変動の有無をMann-Kendall検定で検証した結果がTable 4である。右上がり矢印が“上昇傾向”，右下がり矢印が“減少傾向”，右



Bold line: 12 months moving average, ( ): Number of data

Fig. 7 Trend of water quality indicators - Doyabashi -

水平矢印が“傾向無し”を示している。なお、Mann-Kendall 検定の結果を回帰分析による係数の t 値により検証したところ、両者の結果はほぼ一致した（同表中に※印したものが異なる結果となつたものである）。これより、野田川流入水（堂谷橋）の COD, T-N, T-P, NH3-N は、いずれも減少傾向にあることが有意に示された。図には示していないが、BOD の減少も有意であった。

一方、阿蘇海では、COD は溝尻表層を除いて（これも t 検定では有意に上昇と判定）、いずれも上昇傾向を示した。T-N と T-P については、傾向は示されなかった。NH3-N は、中央、文殊、溝尻で、クロロフィル a (Chl.a) は、文殊と溝尻で減少を示した。DO については、阿蘇海のいずれの地点も底層で上昇傾向が見られた。その他の指標、水温や PH 等に傾向はなかった。野田川流入水の水質指標が改善傾向にあるのに対し、阿蘇海 COD に上昇傾向が認められたのは、野田川流入水がも

たらす負荷以外、例えば、雨天時負荷や内部負荷等が原因となっている可能性が考えられる。

阿蘇海の底層で COD が上昇傾向にあるのに対して DO が同じく上昇傾向にあるのは、矛盾する現象にも思える。そこで、DO のトレンドがより長期の時系列ではどうなっているか検証すべく、昭和 59 年 4 月以降の DO データを追加的に入手し、31 年間 384 個のデータについて再解析した。この結果（底層 DO の推移）を Fig. 8 に示す。グラフからは、阿蘇海中央以外の地点は、平成 10 年～11 年にかけて（破線丸印）小さなピークを持つ循環的な傾向があるようにも見える。ただし、期間を通してみると、やはり上昇傾向にあることが見て取れる。このことは、Mann-kendall 検定でも 1% もしくは 5% の有意度で確認された。COD が上昇傾向にある中で、DO が上昇傾向を示すという現象は、より長期に渡る循環変動の上昇局面に過ぎないのか、あるいは小変動を伴いつつ上昇トレンド

Table 4 Trend analysis – Mann-Kendall Test –

(1) COD		(2) T-N		(3) NH3-N													
Depth	Doya	(1)	(2)	(3)	(4)	Depth	Doya	(1)	(2)	(3)	(4)	Depth	Doya	(1)	(2)	(3)	(4)
0.5m	↖	↗	↗	→	↗	0.5m	↖	→	→	→	→	0.5m	↖	↖	↖	↖	→
2.0m	↗	↗	↗	↗	↗	2.0m						2.0m					
Bottom	↗	↗	↗	↗	↗	Bottom		→	→	→	→	Bottom					

(4) T-P		(5) Chl.a		(6) DO													
Depth	Doya	(1)	(2)	(3)	(4)	Depth	Doya	(1)	(2)	(3)	(4)	Depth	Doya	(1)	(2)	(3)	(4)
0.5m	↖	→	→	→	→	0.5m		→	↖	↖	→	0.5m	→	→	→	→	→
2.0m						2.0m						2.0m	→	→	↖	→	→
Bottom	→	→	→	→	→	Bottom						Bottom	↗	↗	↗	↗	↗

Doya: Doyabashi (Nodagawa River), (1)Asokai Center, (2)Monjuu, (3)Mizojiri, (4)Nodagawa river mouse

↗ : Upward, ↘ : Downward, → : Not Changed,

Bold arrow: 1% significant level, normal arrow: 5% significant level

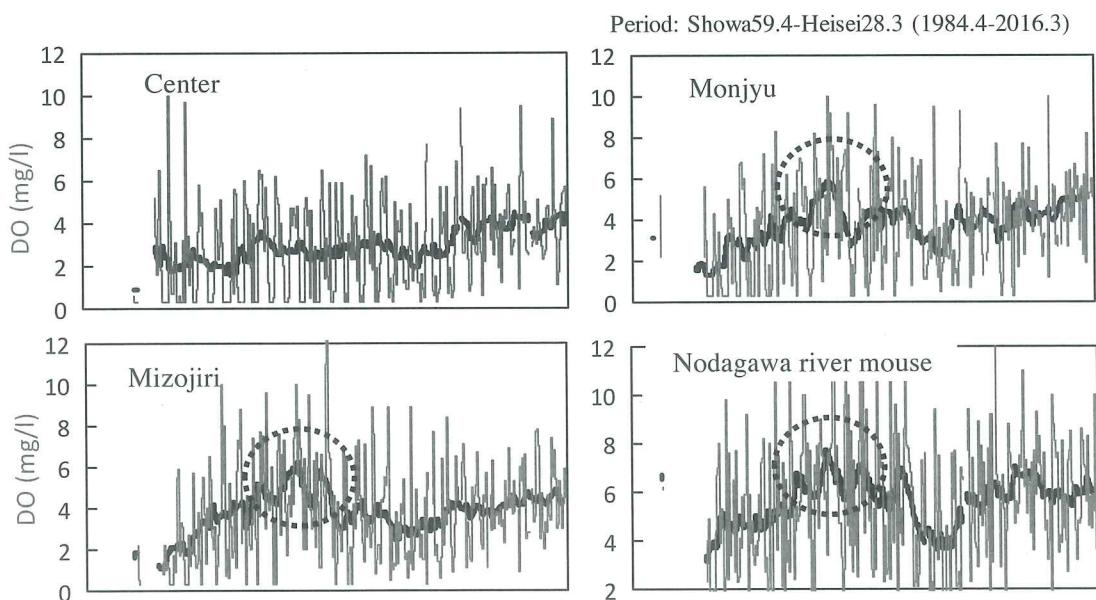


Fig. 8 Long term trend of bottom DO in Asokai

ドは続くのか、大変興味深い。底層DOは底層の水質環境だけでなく、鉛直循環により表層の水質にも影響を与えるため、この現象は今後も注意深く見ていく必要があろう。

## 5. 考察

阿蘇海の水質現象を支配している要因は何かを突き詰めると、それは光合成ということにならうか。春には野田川の有機物、窒素、リンは共に最高濃度になるが、これに対し阿蘇海の春は1年でこれらの濃度の低い季節である。夏に阿蘇海表層のCODは高くなり、秋から冬にかけて減少する。窒素は春から冬にかけて上昇してゆく。以上の現象はいずれも、植物プランクトン(Chl.a)の増減、ならびに環境条件としての栄養塩と水温(ならびに有効放射量)によって決まる光合成強度の変化によって説明できる。すなわち、春はプランクトン量が少ないため、また底層から供給される栄養塩も限られるため、産生される有機物も少なくなる。春に表層の窒素リン濃度が低いのは、春の光合成では野田川流入水中の高濃度の窒素リンが主に使われるためではないかと思われる。一方、夏と秋は水温も高まりプランクトンの量も増え、底泥から供給される栄養塩も増えるため、一次生産が盛んになりCODが増大する。冬になり水温が低下するとプランクトンの活性も下がり、また底泥から供給される栄養塩も減少するため、一次生産が低下しCODは低下する。さらに余剰となつた窒素は表層に蓄積していく。

表層のリンが秋に高まるのは、この時期光合成に必要な窒素が不足し、結果として鉛直循環で表層に輸送されたリンが余剰となっているためではないかと思われる。秋に表層の窒素が不足する理由は不明であるが、有機底泥からの溶出過程と表層への輸送過程における無機化メカニズムの違いによるものかもしれない。

それでは光合成の原因は何かというと、それは植物プランクトンであり、環境条件としての滞留時間や栄養条件ということになる。人が光合成を現実的に制御しようとする場合、栄養条件、すなわち主に窒素リンを制限するほかない。阿蘇海の場合でいうと、野田川流入水のもたらす負荷の削減は春と夏が(窒素は冬も)、底泥からの溶出負荷は夏と秋が、主なターゲットとなろう。

## 6. おわりに

本稿では、公表されている水質データから阿蘇海の水質特性を評価した。4か所の観測地点のうち野田川流入点だけ水質特性が異なること、野田川流入水の水質は、春と夏に異常に高いこと、阿

蘇海表層T-Nは、ほとんどが有機性窒素であるが、冬にかけてNO<sub>3</sub>-Nの割合が高まること、秋には窒素不足になっていること、阿蘇海全域のCODや底層のDOは上昇傾向にあること等、これまでのところ報告のない現象を明らかにした。また、阿蘇海表層水の季節変化は、光合成強度の変化で説明できることを指摘した。

水質改善には負荷の削減が必要なことは誰しも指摘するところであるが、言うは易く行うは難しだる。最後に当たり、削減の方向性だけ指摘しておきたい。外部負荷については、現在のところ下水道等の処理施設で拾い切れていない負荷源、例えば、農地や山林、市街地等のノンポイントソースの対策が、今後の課題となるものと思われる。内部負荷については、底泥からの溶出を抑制するという点において、浚渫や覆砂、薬品等を用いた底泥の改質、あるいは夏と秋の底層水温を下げる等の対策が考えられる。

**謝辞：**本研究に関するデータの入力作業ならびに解析作業の一部は、平成28年度卒研生の山口恵大君と平成29年度卒研生の石畠広大君が行いました。ここに記して感謝申し上げます。

## 補注：

- 1) Mann-Kendall検定は、時系列データのトレンドを検定するノンパラメトリック手法である。この検定では、帰無仮説をH0：データが独立で同一の確率分布に従う、対立仮説をH1：データが同一の確率分布に従わない、として、ある決められた統計量Zを計算して、標準正規分布の超過確率 $\alpha/2$ に相当するクォンタイルと比較し、トレンドの有無を検定するものである。 $\alpha$ は有意水準。詳しくは、西岡<sup>16)</sup>、徐<sup>17)</sup>を参照されたい。
- 2) 阿蘇海の水理学的平均滞留時間(HRT)は以下のように算出した。
  - (1) 晴天時野田川流入水量 : 2.4m<sup>3</sup>/s (夏季)
  - (2) 年降水量 : 1788mm<sup>※1)</sup>
  - (3) 阿蘇海流域面積 : 136km<sup>2</sup><sup>※2)</sup>
  - (4) 阿蘇海内海水量 :  $4.2 \times 10^7$ m<sup>3</sup><sup>※2)</sup>
  - (5) 晴天時HRT = (4)/[(1) × 86400]
  - (6) 雨天時HRT = (4)/[(2) × (3) × 1000]

※1) 気象庁、過去の気象データ検索、年月ごとの平年値(宮津)

※2) 清水芳久、富栄養化問題の底質対策・汚濁源対策に対する総合評価による統合的流域管理手法の構築、平成23年4月、平成22年度河川整備基金助成事業実績成果報告書、p1.
- 3) 表層と底層のPHの差は、以下の通り。  
中央 : 0.5~0.6、文殊 : 0.4~0.5、溝尻 : 0.3~0.6、

野田川流入点：0.1~0.2程度，

1979.

### 参考文献：

- 1) 吉村信吉：久美浜湾・離湖・輿謝内海の湖沼学的研究，日本水産学会誌，6(6), pp.325-326, 1937.
- 2) 宮地傳三郎，波部忠重：輿謝内海の海況と漁況の改善，日本水産学会誌，第十四巻第五號，昭和二十四年。
- 3) 橋高二郎：久美浜湾及び与謝内海開発調査報告第一報，京都府水産試験所事業報告，昭和26・27年度，pp.119-130, 1951.
- 4) 橋高二郎：久美浜湾及び与謝内海開発調査報告第二報，京都府水産試験所事業報告，昭和28年度，pp.83-88, 1953.
- 5) 上田博，岡高明：富栄養化に関する研究（その2）－阿蘇海の海水中の無機態窒素とリン酸態リンおよびクロロフィルaについて，京都府公害研究所年報，第4号，pp.81-85, 1975.
- 6) 田中俊次，杉山元彦，西岡純：与謝内海水質環境調査，京都府水産試験所事業報告，pp.104-111, 1975.
- 7) 田中俊次，杉山元彦，中西雅幸：与謝内海の水質について，京都府水産試験所事業報告，pp.127-130, 1976.
- 8) 西岡純：阿蘇海のプランクトンについて，京都府立海洋センター研究報告，第3号，pp.96-102, 1979.
- 9) 中西雅幸，杉山元彦，西岡純，田中俊次：阿蘇海における無酸素層と硫化水素の周年変化について，京都府立海洋センター研究報告，第3号，pp.103-110,
- 10) 田口寛，井上知明：北部英嘸声海域の溶存酸素の鉛直分布調査結果について（II）－阿蘇海－，京都府保環研年報，第51号，pp.87-95, 2006.
- 11) 蝶勢智明，四藏茂雄：阿蘇海の底泥分布調査と溶出試験，土木学会関西支部年次学術講演会，平成22年度。
- 12) 京都府：京都府における水洗化普及率について，<http://www.pref.kyoto.jp/gesuido/hukyuuritsu.html> (2017.8.8 アクセス) .
- 13) 京都府：阿蘇海シープルー事業，<http://pref.kyoto.jp/kowanji/1197611740855.html> (2017.8.8 アクセス) .
- 14) 京都府：公共用水域及び地下水の水質測定結果，<http://www.pref.kyoto.jp/suishitu/h27kekka-syosai.htm> (2017.8.8 アクセス) .
- 15) 上田彬博，濱根貴志，他：阿蘇海の水質汚濁機構における閉鎖性水域としての特性に関する研究－内海水と外海水との交換率－，水質汚濁研究，第12巻第10号，pp.635-645, 1989.
- 16) 西岡昌秋，寶馨：Mann-Kendall 検定による水文時系列の傾向変動，京都大学防災研究所年報 第46号B，平成15年4月(2003.4).
- 17) 徐宗学，竹内邦良，石平博：日本の平均気温・降水量時系列におけるジャンプ及びトレンドに関する研究，水工学論文集，第46巻，2002.2.

(2018.1.12受付)

## CHARACTERISTICS OF WATER QUALITY IN ASOKAI

Shigeo SHIKURA

**ABSTRACT :** In this paper, water quality characteristics of Asokai, closed sea area located in northern part of Kyoto Prefecture, are analyzed based on publicly-observed data. As a result, followings are emerged, (1) characteristics of water quality at an observation point, name of Nodagawa river mouth, is different from 3 other points , (2) water quality of surface and bottom at every point is largely different, (3) seasonal change of surface water quality is explained as change of photosynthesis intensity by phytoplankton, (4) COD at every point and in every depth in Asokai is on the upward trend, though Nodagawa river water COD is on the downward trend, (5) bottom DO at every observation point is on the upward trend. Pollution load should be decreased for water quality improvement. In-coming pollution load thorough Nodagawa river in spring and summer and pollution load eluting from organic sediments in summer and autumn are its main targets.

**Key Words :** Asokai, Amanohashidate, Eutrophication, Officially-observed water quality data, Statistical analysis