

宇和海・北灘湾におけるクロロフィル *a* 濃度の季節・経年変化

速水祐一^{†1}, 扇山 舟^{2*}, 山田正徳³, 山田政彦³, 竹村公宏³, 武岡英隆⁴

Seasonal and Inter-annual Variation in Chlorophyll *a* Concentration in Kitanada Bay, Uwa Sea

Yuichi HAYAMI^{†1}, Shu OUGIYAMA^{2*}, Masanori YAMADA³, Masahiko YAMADA³, Kimihiro TAKEMURA³ and Hidetaka TAKEOKA⁴

The seasonal and inter-annual variation in chlorophyll *a* concentration in the Kitanada Bay located at the eastern coast of the Bungo Channel was investigated using the data of oceanographic monitoring conducted by Tsushima town, Ehime Prefecture. The relationship between the variations in physical conditions and chlorophyll *a* concentration was also investigated. From April to October, the density structure of Kitanada Bay was estuarine type. Low density water spread from the bay head to bay mouth at the surface. On the other hand, it was inverse estuarine type from December to February, cold and high density water plunges along the bottom from bay head to the bay mouth. The chlorophyll *a* concentration in the bay was low in the inverse estuarine period and high during the estuarine type period especially in the surface layer. The net ecosystem production (NEP) of chlorophyll *a* was estimated with a box model analysis. The NEP of chlorophyll *a* amounted around 400 kg chl-*a* · day⁻¹ in the estuarine type period, but it was around zero in the inverse estuarine period. The integrated NEP of chlorophyll *a* throughout the year indicates that the Kitanada Bay is a source of chlorophyll *a* for the offshore water. There was a good relationship between the mean summer chlorophyll *a* concentration in upper 5 m in and outside of the Kitanada Bay and the bottom water temperature in the offshore region that is an indicator of the activity of the bottom intrusion from the shelf slope. It indicates that the nutrient supply by the bottom intrusion in the Bungo Channel enhances the phytoplankton production even in the shallow tributary bay. It was supposed that the low chlorophyll *a* production in winter Kitanada Bay was caused by the decline of riverine input of nutrient and stop of nutrient transport from outside of the bay along the bottom due to the inverse estuarine circulation and the absence of bottom intrusion.

Key words: chlorophyll *a*, seasonal variation, inter-annual variation, Kitanada Bay, Bungo Channel, bottom intrusion

はじめに

豊後水道東部の宇和海では、真珠母貝であるアコヤガイの養殖が盛んにおこなわれている。アコヤガイの養殖は無給餌でおこなわれており、貝の成長に必要な餌料は天然の植物プランクトンに依存している。したがって、この海域に

おける植物プランクトン量の変動は、地元の真珠産業にとって大きな影響を与えている。そのため、この海域では植物プランクトン量のモニタリング、変動機構の解明、変動予測が求められている。これに対して、アコヤガイ養殖業の盛んな愛媛県北宇和郡津島町では、平成7年度より漁場環境等総合調査検討事業を開始し、沿岸海域におけるクロロフィル *a* 濃度を中心にしたモニタリングをおこなっている。

宇和海における植物プランクトン量の変動については、これまで主に赤潮の発生（小泉ほか、1996）や急潮の影響（川端・佐竹、1992；小泉・河野、1994）に関して研究がおこなわれてきた。その結果、宇和海の支湾内では、急潮によって貧栄養で植物プランクトンの少ない海水が流入することによって湾内の植物プランクトン密度が低下し、急潮後に湾外底層から冷水が進入して豊富な栄養塩がもたらされるのにもなって湾内の植物プランクトン量が増加す

2004年6月28日受付、2004年10月15日受理

¹ 愛媛大学工学部

Faculty of Engineering, Ehime University, 3 Bunkyo-Cho, Matsuyama, Ehime 790-8577, Japan

² 愛媛大学理工学研究科

* 現所属 中国木材株式会社

³ 津島町水産課

Tsushima Town, Section of Fishery, 471 Iwamatsu-Kou, Tsushima Town, Ehime 798-3392, Japan

⁴ 愛媛大学沿岸環境科学研究センター

Center for Marine Environmental Studies, Ehime University, 2-5 Bunkyo-Cho, Matsuyama, Ehime 790-8577, Japan

[†] hayami@dpc.ehime-u.ac.jp

ることが明らかにされた。また、急潮によって透明度の高い海水が表層に流入することがケイ藻ブルームの引き金になっていることも示された (小泉ほか, 1997)。このように、宇和海では夏季を中心にした時期の比較的短周期の植物プランクトン量変動に関しては、研究が進んでいる。しかし、基本的な季節変動に関してはまとまった報告はなく、経年的な変動については小泉 (1997) があるだけである。そこで本研究では、津島町がおこなっているモニタリングデータにもとづいて、宇和海の支湾である北灘湾およびその周辺海域におけるクロロフィル *a* 濃度の季節・経年変化を示し、それに対する海況変動の影響について分析をおこなう。

データおよび対象海域

北灘湾は、豊後水道東岸に位置する幅 1.5 km、奥行き 5 km ほどの小湾である (Fig. 1)。湾奥には岩松川が流入している。湾の平均水深は約 21 m で、海底は湾奥から湾口に向かってなだらかに傾斜しており、湾口付近の水深は約 50 m である。津島町の漁場環境等総合調査検討事業によるモニタリング調査では、津島町沿岸の Fig. 1 に示す測点において、基本的に月 1 回以上の頻度でアレック電子製クロロテックを用いて水温・塩分・クロロフィル蛍光・照度の鉛

直分布の測定をおこなっている。クロロフィル蛍光については、採水してクロロフィル *a* 濃度を分析した結果と比較して検量線が作成されており、それにもとづいてクロロフィル *a* 濃度に換算されている。本研究では 1996 年から 2003 年までの観測データを使用し、特に気象条件が平年的でかつ 1 年間を通じて毎月 1 回以上のデータがそろっている 1999 年について重点的に解析した。解析には岩松川の河川流量も用いたが、これについては連続モニタリングデータがないため、以下のようにして求めた。愛媛県がおこなっている公共用水域水質測定では、岩松川で毎月 1 回の流量測定がおこなわれている。そこで、このデータと集水域が隣接する四万十川の具同流量観測所のデータ (国土交通省河川局, 2001) を比較し、両者の間で回帰直線を求めた (Fig. 2)。こうしてもとめた回帰直線と具同流量観測所の毎日の流量データから、岩松川の毎日の河川流量を推定した。

海洋構造及びクロロフィル *a* 濃度の季節変動

北灘湾湾口沖の宇和海から湾奥にかけてのライン (Fig. 1 点線) に沿った 1999 年の 1 月から 12 月までの各月の水温分布 (Fig. 3) をみると、北灘湾は冬季の 1, 2, 12 月には低温水が海底にそって湾奥から湾口に広がるように分布してい

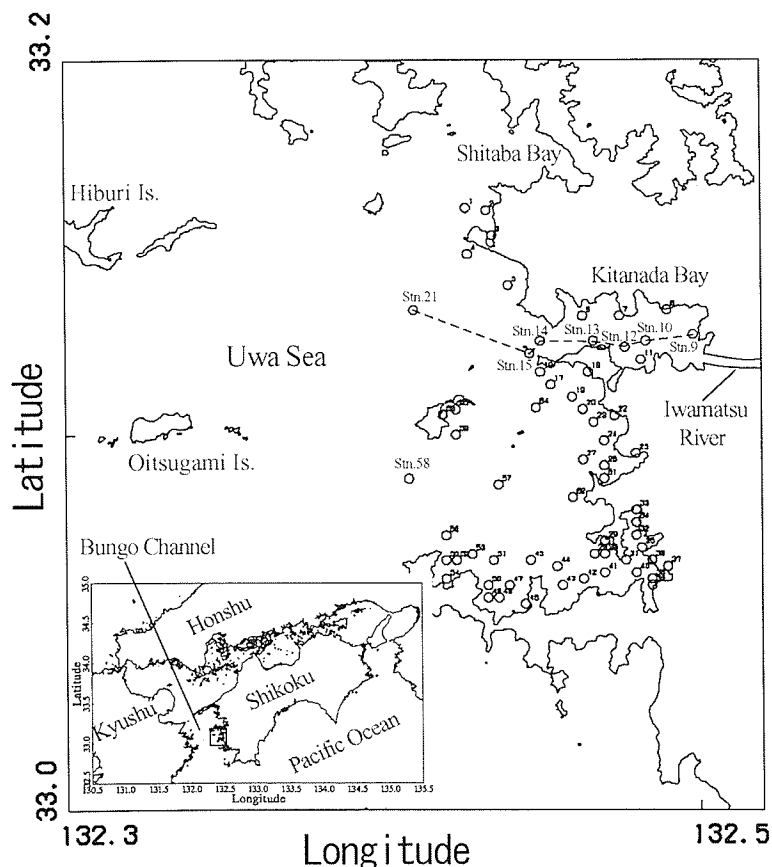


Figure 1. Map of the Kitanada Bay and locations of the monitoring stations.

た。3月になると暖かい水が湾奥から湾内表層に広がるようになり、5月から9月までは強い水温成層が続き、10月になると再び水温は鉛直一様になった。塩分 (Fig. 4) については、4月から10月までは河川が流入する湾奥で低塩となり、湾内上層に低塩分水が広がるエスチュアリー型の塩分分布となっていた。11月は湾外表層の方が湾内よりも低塩分であったが、この原因は不明である。12月から3月

の冬季には湾内の塩分差は小さく、鉛直的にはほぼ一様である。岩松川の河川流量は夏に多く、冬に少ないという大きな季節変動があり (Fig. 5)、塩分の変動と一致する。密度分布 (Fig. 6) は、12月から2月にかけての冬季には水温の影響を強く受けており、低温で高密度な水が湾奥から底層に沿って湾外へ流出するように分布していた。4月から10月までは塩分分布を反映し、湾奥から湾口にかけて表層に薄く低密度水が広がるエスチュアリー型の密度分布となっていた。

クロロフィルa濃度 (Fig. 7) をみると、こうした海洋構造の変化に対応した顕著な季節変動が見られた。11月から3月までは、湾内のクロロフィルa濃度はほとんど $1 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 以下で、湾外と同程度あるいはそれより低濃度になっていた。4月になると湾内表層でクロロフィルa濃度は高くなり始め、変動はあるものの5月から10月までは常に最高濃度が $5 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 以上の高い濃度で推移した。ただし、高いクロロフィルa濃度は15m以浅の湾内上層に限られた。クロロフィルa濃度分布と海洋構造を比較すると、両者の間には明瞭な関係が見られ、湾内表層でクロロフィルaが高濃度になるのは4月から10月まで湾内表層に低密度水が広がる時期に限られた。Fig. 8は湾内平均および湾口 (測点15) における各月の平均クロロフィルa濃度の季節変化を示したものである。これをみると、11月から4月までは湾内外でほとんどクロロフィルa濃度に差はなく、いずれも $0.5 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 程度の低濃度であった。一方、5月から

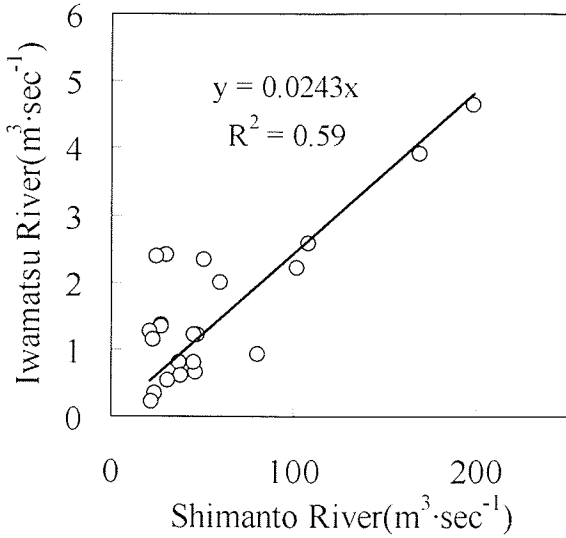


Figure 2. Relation between the discharge of Shimanto River and Iwamatsu River.

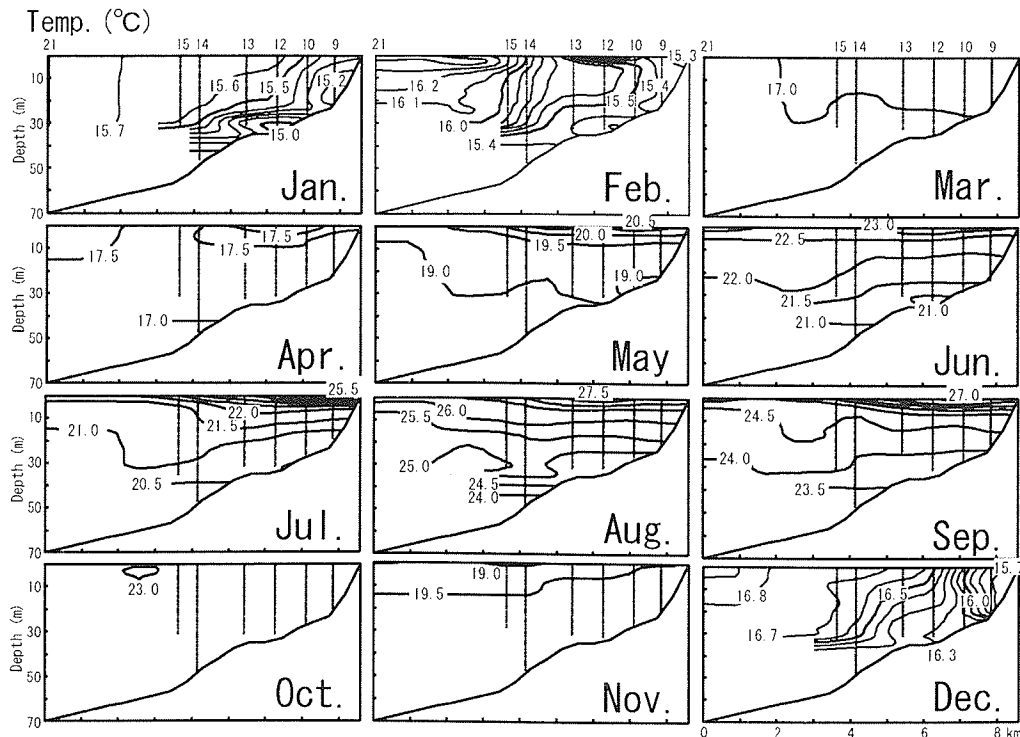


Figure 3. Distributions of temperature in and around the Kitanada Bay from January to December, 1999.

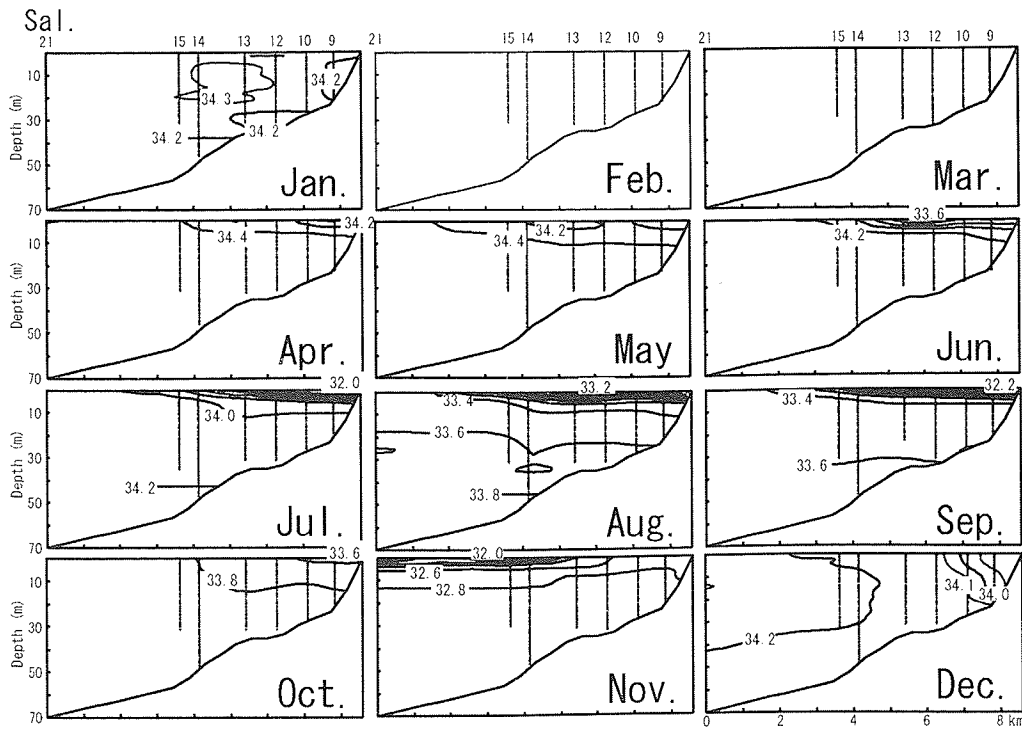


Figure 4. Distributions of salinity in and around the Kitanada Bay from January to December, 1999.

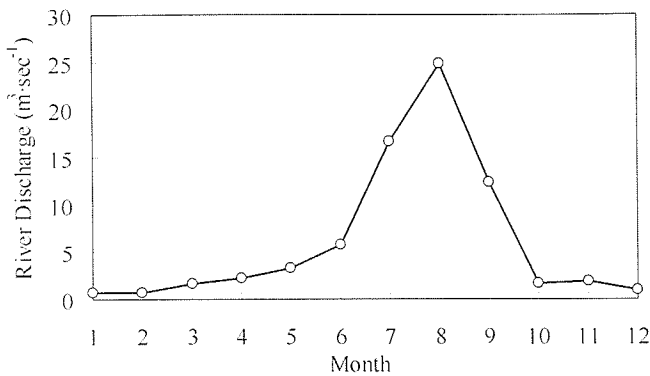


Figure 5. Seasonal variation in monthly average discharge of Iwamatsu River in 1999.

10月までは湾内外ともにクロロフィルa濃度が高い時期で、特に湾内で高くなっていた。この間のクロロフィルa濃度は、初夏に極大になった後、夏に低下し、その後秋に再び増加するという変動を示した。

ボックスモデル

湾内におけるクロロフィルa濃度季節変動の原因についてさらに調べるために、ボックスモデルによる解析をおこなった。測点14と15の間を湾口とし、これより内側の湾内をひとつのボックスとした。湾内の平均塩分を S_1 、湾口外の塩分を S_2 、湾口すぐ内側の塩分を S_1' 、湾の体積を V

($=182.3 \times 10^6 \text{ m}^3$)、河川流量を Q_0 、湾口における拡散による海水交換量を q とすると、湾内の塩分変化は次式で表される。

$$V \frac{dS_1}{dt} = q(S_2 - S_1') - Q_0 S_1 \quad (1)$$

この式から、1999年の毎月の河川流量・塩分データを用いて、各月間の q を求めた。また、湾内のクロロフィルa濃度変化は次式で表される。

$$V \frac{dC_1}{dt} = q(C_2 - C_1') - Q_0 C_1 + P \quad (2)$$

ここで C_1 は湾内の、 C_1' は湾口すぐ内側の、 C_2 は湾口外のクロロフィルa濃度で、 P は湾内におけるクロロフィルaの純生産量である。 P は湾内で生産されたクロロフィルa量から湾内で消費されたクロロフィルa量を差し引いたもので、クロロフィルaを単位にした湾内の生態系純生産量に相当する。ただし、ここでは海底への沈降や捕食を考慮しておらず、その分も P に含まれるために実際より過小評価になっている。この式から、上で得られた q と1999年の毎月の河川流量・クロロフィルa濃度を用いることで、各月間の湾内のクロロフィルa純生産量 P を求めることができる。Fig. 9はこうして求められた湾内のクロロフィルa純生産量の季節変化である。湾内のクロロフィルa純生産量は4月から10月にかけて高く、これはちょうど湾内がエスチュアリー型の密度分布になっていた時期である。また、2回のピークがみられたクロロフィルa濃度と異なり、純

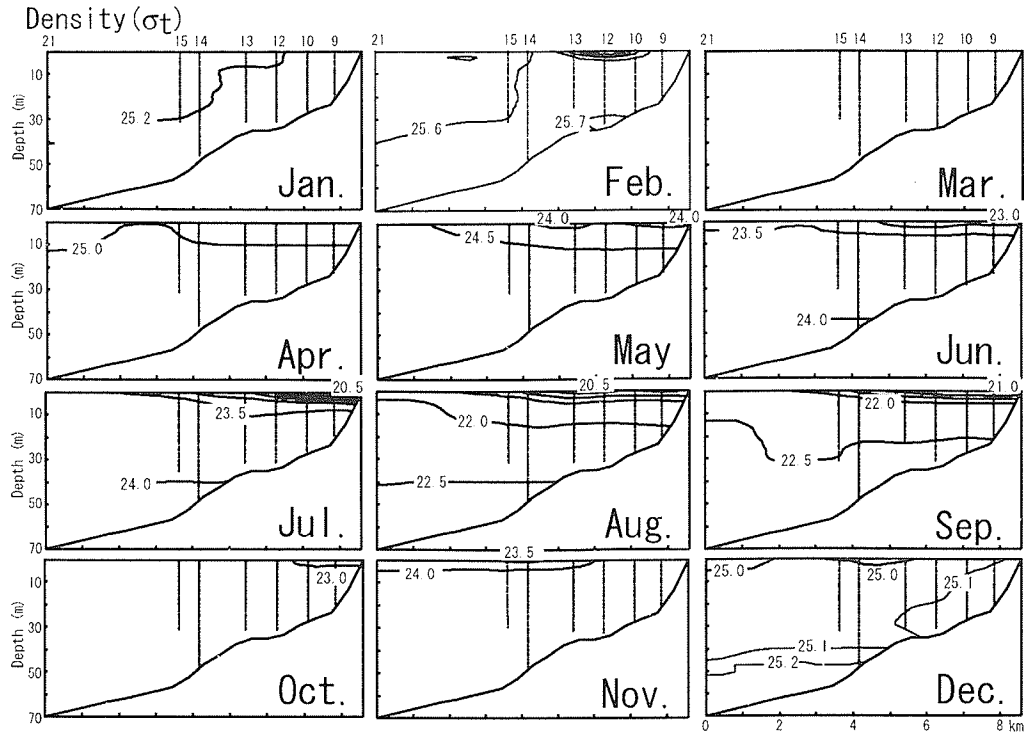


Figure 6. Distributions of density (σ_t) in and around the Kitanada Bay from January to December, 1999.

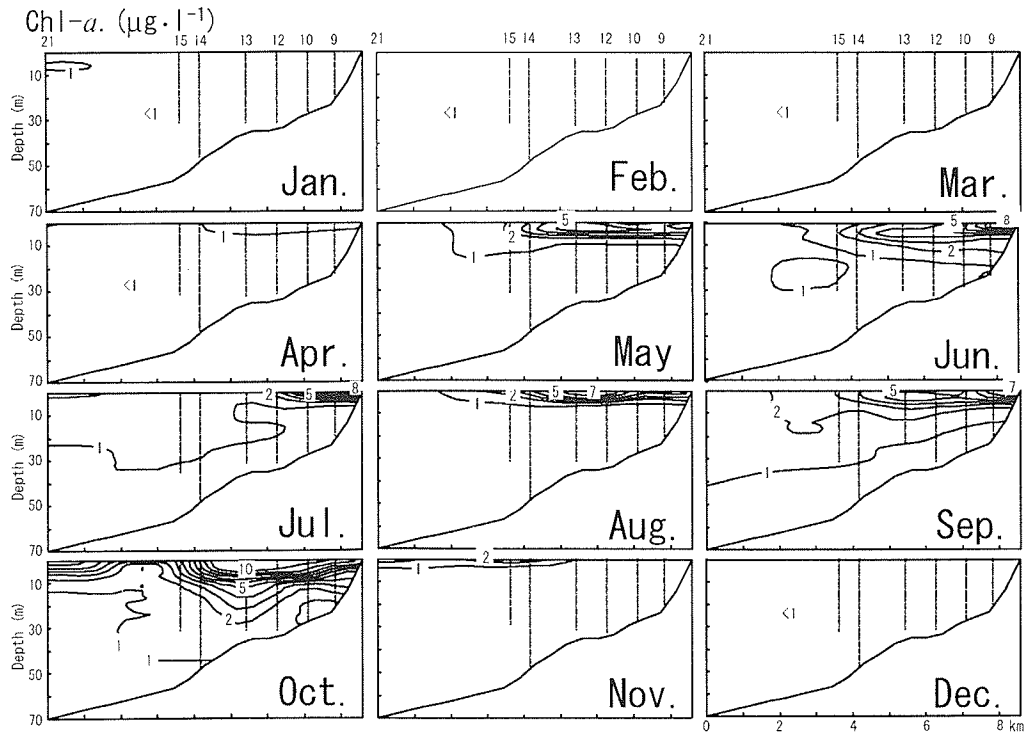


Figure 7. Distributions of chlorophyll *a* concentration in and around the Kitanada Bay from January to December, 1999.

生産量は5月から10月までほぼ同じような値である。一方、冬季には湾内のクロロフィルa純生産量はほとんど0かわずかながら負となっていた。純生産量が負の月には、湾口におけるクロロフィルaのフラックスはわずかではあるが流入となっており、湾内での消費が湾外から流入する植物プランクトンによって補償される構造になっていた。年間平均した湾内のクロロフィルa純生産量は正の値で約

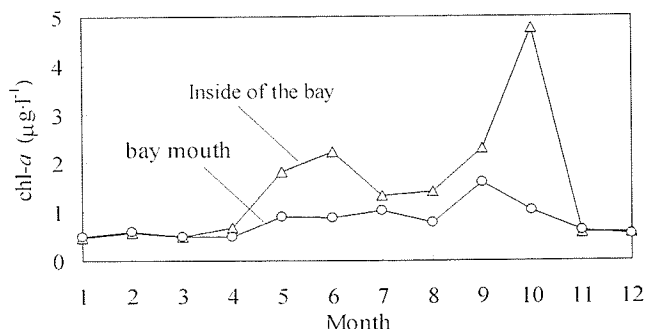


Figure 8. Seasonal variation in mean chlorophyll a concentration at the bay mouth and inside of the Kitanada Bay in 1999.

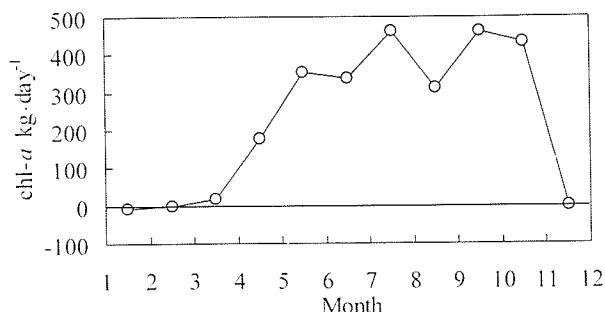


Figure 9. Seasonal variation in net ecosystem production of chlorophyll a in the Kitanada Bay in 1999.

210 kg chl-a·day⁻¹であった。この結果は、年間を通してみると北灘湾は湾内で植物プランクトンを生産して湾外に供給するソースとなっていることを意味している。

このようにして得られたクロロフィルa純生産量を窒素換算して、河川、底泥および魚類養殖から供給される窒素量と比較してみよう。夏季の北灘湾においてクロロフィルaと粒状態窒素濃度を測定した結果(速水ほか, 未発表)によると、北灘湾上層(15m以浅)のクロロフィルa濃度と粒状態窒素濃度の間には、

$$\text{粒状態窒素濃度 } (\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}) = 11.6 \text{ chl-a } (\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}) + 21.4$$

という関係があった。この関係を用い、4~10月の各月のクロロフィルa純生産量に11.6をかけて植物プランクトン態窒素の純生産量に換算すると、2050~5360 kg·day⁻¹となる(Table 1)。愛媛県の公共用水域水質分析結果によると、岩松川の全窒素濃度は0.3~1.5(平均0.7) mg·l⁻¹である。高めに見積もって、もし河川水中の全窒素濃度を1.5 mg·l⁻¹とした場合、4~10月の各月に河川から湾内に供給された窒素量は250~3160 kg·day⁻¹となった(Table 1)。現実にはありえないが、これが全て植物プランクトンの生産に使われたとしても、窒素換算した湾内の純生産量はこの1.1倍から27倍に達する。底泥からの供給量については、山本ほか(1998)によって季節別に求められた瀬戸内海の底泥に関する強熱減量と溶存無機態窒素溶出量の関係式と、水産庁(1979)による北灘湾全域の底質調査結果から推算した。こうして求めた4~10月の底泥からの溶存無機態窒素(NO₃-N+NH₄-N)溶出量は74~250 kg·day⁻¹となった(Table 1)。ただし、関係式のない月の値は線形補完した値である。これは上で求めた植物プランクトン態窒素の純生産量よりも1~2オーダー小さな値であった。魚類養殖起源の溶存無機態窒素供給量については、北灘湾内の魚類養

Table 1. Comparison of total nitrogen flux from river, dissolved inorganic nitrogen flux from sediment and fish (red bream) culture and NEP of phytoplankton nitrogen in the Kitanada Bay.

Month	A	B	C	A+B+C	NEP of phytopl. (kg N·day ⁻¹)
	Riverine flux (kg N·day ⁻¹)	Flux from sediment (kg N·day ⁻¹)	Flux from fish culture (kg N·day ⁻¹)	(kg N·day ⁻¹)	
Jan.-Feb.	63	140	435	639	-99
Feb.-Mar.	155	162	370	686	-18
Mar.-Apr.	301	183	444	929	199
Apr.-May	253	205	551	1009	2048
May.-Jun.	363	139	633	1135	4091
Jun.-Jul.	643	74	766	1484	3897
Jul.-Aug.	2087	133	853	3073	5355
Aug.-Sep.	3160	192	947	4298	3603
Sep.-Oct.	1167	250	1065	2483	5336
Oct.-Nov.	184	309	974	1467	5010
Nov.-Dec.	218	225	783	1226	-22

殖生け簀の概数に、生け簀1面あたりの平均的な給餌量、餌の窒素含有率、与えた餌に含まれる窒素のうち溶存無機態として水中に排出される割合を掛け合わせて求めた。北灘湾内でおこなわれている魚類養殖はほとんどマダイだけであり、約700面の生け簀がある。生け簀あたりの給餌量については北灘湾におけるデータがないため、大分県海洋水産研究センターほか(2003)から得た隣接する下波湾の資料を月ごとに平均した値を用いた。餌の多くはモイストペレットであり、その窒素含有率は三重県(1995)にしたがって乾重量あたり7.98%とした。与えた餌に含まれる窒素のうち溶存無機態として水中に排出される割合は、三重県(1995)より27.5%とした。こうして得られた4~10月の魚類養殖起源の溶存無機態窒素供給量は550~1070 kg・day⁻¹であり河川からの窒素供給量と同オーダーであった(Table 1)。4~10月の、河川からの全窒素流入量、底泥・魚類養殖場から供給される溶存無機態窒素量を合わせた値は1010~4300 kg・day⁻¹となった(Table 1)。これは8月を除くと上で求めた植物プランクトン態窒素の純生産量よりも小さく、その差は1040~2960 kg・day⁻¹に達する。しかも、河川から流入した植物プランクトンに利用可能な形態の窒素の量はもっと少なかったはずであり、また植物プランクトン態窒素の純生産量は過小評価になっている。このことから、北灘湾では河川や底泥、魚類養殖場以外に湾外からも栄養塩の供給があるのではないかと考えられる。北灘湾は比較的浅く、河川が流入しており、魚介類の養殖も活発であることから、従来北灘湾内の高濃度のクロロフィルa濃度はこうした陸域起源の栄養塩によって支えられていると考えられてきた。しかし今回の結果は、陸域起源だけではなく、湾口外から供給される栄養塩がかなりある可能性を示唆している。

クロロフィルa濃度の経年変化

次にクロロフィルa濃度の経年変化について示す。Fig. 10a, bは夏季(7月から9月までの平均)における北灘湾の湾内と湾外の平均クロロフィルa濃度の経年変化を示したものである。Fig. 1に示した全測点のデータを用い、測点15よりも内側を湾内、それ以外を湾外とした。鉛直的にはアコヤガイの養殖水深である0mから5mまでの平均値である。これをみると、湾外に比べて湾内の方が4倍程度濃度の高いこと、2000年がとびぬけて濃度が高いこと、2002年を除くと湾内と湾外の変動パターンはよく似ていることがわかる。2002年は降水量(宇和島)が平年の65%しかなかったという異常気象の年であり、他の年と同様には扱えない可能性がある。Fig. 10aには、沖合に位置する測点21と58における水深60mの水温(7月から9月までの全平均値)の経年変動を合わせて示した。クロロフィルa濃度と比較しやすいように、縦軸を上下逆にして描いてある。1997年以前のデータがないのは、これらの年には水

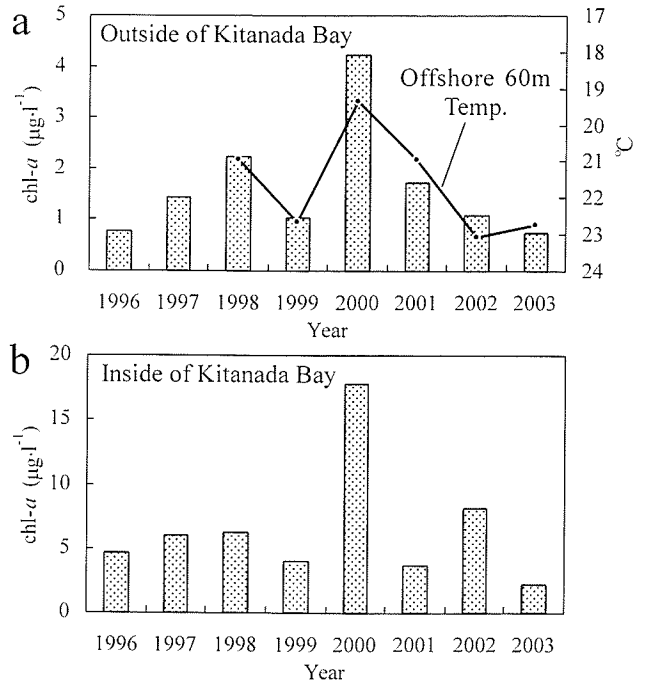


Figure 10. Inter-annual variation in summer chlorophyll a concentration outside (a) and inside (b) of the Kitanada Bay. Variation in temperature at 60 m depth at stations 21 and 58 is also indicated (a). Mean values from July to September are shown.

深約30mまでしかデータをとっていなかったためである。これをみると、底層の水温変動と表層クロロフィルa濃度の間には非常によく対応関係があり、底層水温が低いほど表層のクロロフィルa濃度は高くなっていることがわかる。夏季の平均底層水温が低いということは、その夏に底入り潮(bottom intrusion)(Kaneda *et al.*, 2002; 兼田ほか, 2002)が活発に流入しており、外海の陸棚斜面起源の低温で栄養塩濃度の高い海水が宇和海に多く流入していたことを意味する。したがって、北灘湾外におけるクロロフィルa濃度の経年変動は底入り潮による栄養塩供給量の多寡によって説明できると考えられる。一方で湾内については、先に述べたように、従来北灘湾内の高濃度のクロロフィルa濃度は河川や養殖場起源の栄養塩によって支えられていると考えられてきた。しかし、濃度こそ異なるものの、湾外と湾内のクロロフィルa濃度は、どちらも2000年に特に高くなるなどよく似た経年変動パターンとなっていた。例えば2000年に河川流量が特に多かった、あるいは湾内で養殖業が活発だったという事実はなく、この結果は底入り潮による栄養塩供給が北灘湾の湾内まで影響を与えていることを示している。

考察

北灘湾では4月から10月までの時期と12月から2月にかけて

ての冬季で海洋構造が大きく異なっていた。冬季には、低温で高密度な水が湾奥から底層に沿って湾外へ流出するように分布しており、これは浅い湾奥部の水が海面冷却によって冷やされた結果、湾外水よりも低温・高密度になり密度流として海底に沿って流出していたものと考えられる。すなわち、湾奥に河川が流入しているにもかかわらず、冬季の北灘湾では上層から湾外水が流入し、下層から湾内水が外へ流出する逆エスチュアリー型の循環になっていると推定される。豊後水道が黒潮という熱源によって冬季でも暖かいこと、北灘湾が比較的閉鎖的なために湾内の混合が弱いこと、岩松川の流量が冬季に少なくなることが、冬季の北灘湾でこのような密度流が発生するのに適した条件になっているものと考えられる。一方、4月から10月にかけての時期は、湾奥に流入する河川水の影響に海面加熱の影響が加わり、典型的なエスチュアリー型の密度分布となっていた。この時期の湾内では、上層で流出、下層で流入するエスチュアリー型の循環が成立していると考えられる。

北灘湾内のクロロフィルa濃度は、海洋構造がエスチュアリー型であった4~10月に高く、逆エスチュアリー型になる冬季には非常に低くなっていた。ボックスモデルの結果および経年変化の解析結果は、北灘湾では湾外からの栄養塩供給が湾内の植物プランクトンの生産に寄与していることを示している。そのような栄養塩輸送機構としてはエスチュアリー循環・底入り潮による海底にそった湾外水の流入が考えられる。冬季の北灘湾では、岩松川の流量が減少するために陸域からの栄養塩供給量が減少する。さらに、冬季には湾内の循環が逆エスチュアリー型になり、底入り潮の発生もないために、湾外からの栄養塩供給は絶たれるであろう。こうしたことが、冬季に北灘湾内のクロロフィルa生産量が突然非常に低くなる原因になっている可能性がある。

本研究の結果は、宇和海では沿岸の比較的浅い支湾の中でも外海から流入する栄養塩によって植物プランクトンの生産が支えられていることを示唆している。外海から豊後水道・宇和海に栄養塩が供給される機構としては底入り潮 (bottom intrusion) の存在がある。しかし、底入り潮は水深100m近い豊後水道の海底にそって進入してくる現象で、一方、北灘湾の平均水深は20m程度であり、湾内で高いクロロフィルa濃度が見られるのは水深15m以浅である。豊後水道底層に進入した底入り潮によってもたらされた栄養塩が浅い支湾内表層の植物プランクトンに利用されるためには、底層水を表層近くまで持ち上げるなんらかのメカニズムがなくてはならない。このようなメカニズムのひとつとして、底入り潮 (bottom intrusion) として沖合の成層域底層から進入した海水が島や岬などの複雑な地形が作り出す強い潮流によって鉛直混合され、混合された海水が密度流としてより浅い層に貫入するという仕組みがあるのでは

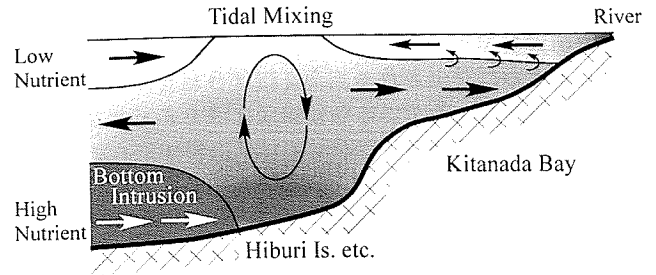


Figure 11. Schematic of the “nutrient by-pass” around the Kitanada Bay.

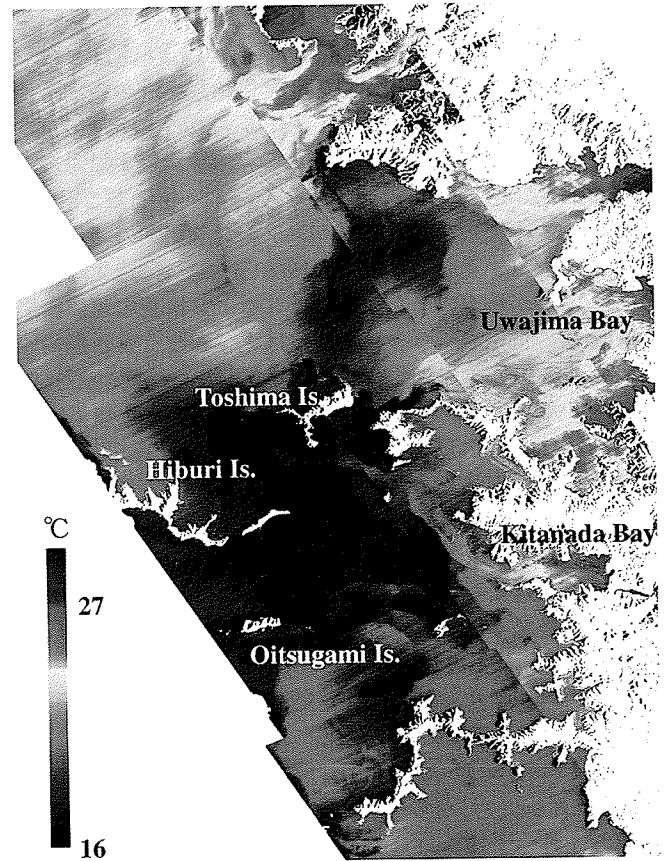


Figure 12. Sea surface temperature of Uwa Sea measured with air borne MSS on 4 September, 2000.

ないかと考えられる。武岡 (1996) はこの仕組みを「栄養塩バイパス」と呼んでいる。Fig. 11に武岡 (1996) の図を北灘湾付近の条件に合わせて一部改変した模式図を示す。Fig. 12は2000年9月4日に航空機に搭載されたMSS (マルチスペクトラルスキャナー) によって撮影された画像をもとにして得られた宇和海の表面水温分布であるが、北灘湾沖にある日振島、戸島、御五神島等にかこまれた海域およびその周辺で顕著な低温域が形成されており、強い鉛直混合が生じていることを示している。底入り潮発生時には、このような海域で鉛直混合された海水が、成層した北灘湾

内に密度流として流入することで、湾内に栄養塩を輸送しているのではないかと考えられる。この機構を調べるためには本モニタリングとは別に詳細な観測をおこなっており、別途報告したい。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、資料の解析に協力していただいた元愛媛大学理工学研究科学生の野村具史氏、有益な討論をしていただいた小濱剛氏をはじめとする愛媛大学沿岸環境科学研究センター環境動態解析分野のスタッフ諸氏に深く感謝する。なお、本論文は愛媛大学と津島町の共同研究「漁場環境等調査検討事業（平成7年度から15年度まで）」の研究成果の一部である。

引用文献

大分県海洋水産研究センター・愛媛県水産試験場・和歌山県農林水産総合技術センター水産増殖試験場 (2003) 平成14年度環境保全型養殖普及推進対策事業報告書。
川端善一郎・佐竹宗徳 (1992) 急潮による湾内の物理構造・栄養塩・植物プランクトンの変化。沿岸海洋研究ノート, 30,

27-36。
小泉喜嗣・河野芳巳 (1994) 夏季の下波湾の珪藻プランクトン増殖機構に対する急潮の影響。沿岸海洋研究ノート, 32, 81-90。
小泉喜嗣・西川 智・葉師寺房憲・内田卓志 (1997) 急潮による珪藻類休眠期細胞の発芽と増殖。水産海洋研究, 61, 275-287。
小泉喜嗣 (1997) 沿岸の植物プランクトンの中期変動。月刊海洋, 30, 419-427。
国土交通省河川局編 (2001) 流量年表 (第52回 平成11年)。日本河川協会。
Kaneda, A., H. Takeoka, E. Nagaura and Y. Koizumi (2002) Periodic intrusion of cold water from the Pacific Ocean into the bottom layer of the Bungo Channel in Japan. J. Oceanogr., 58, 547-556。
兼田淳史・乗松桂輔・渡辺浩三・小泉喜嗣・武岡英隆 (2002) 黒潮の離接岸が豊後水道の水温に与える影響。沿岸海洋研究, 39, 181-188。
三重県 (1995) 養殖ガイドライン作成検討調査事業報告書 (マダイ)。魚類養殖対策調査事業報告書, 社団法人全国かん水養魚協会・三重県・愛媛県・長崎県・熊本県編, 61-91。
水産庁 (1979) 昭和53年度漁場改良復旧基礎調査報告書。
武岡英隆 (1996) 基礎生産と物理過程。瀬戸内海の生物資源と環境。岡市友利・小森星児・中西 弘編, 恒星社厚生閣, 41-47。
山本民次・松田 治・橋本俊也・妹背秀和・北村智顕 (1998) 瀬戸内海底泥からの溶存無機態窒素およびリン溶出量の見積もり。海の研究, 7, 151-158。