伊勢湾における微生物ループの実態把握とそのモデル化

永尾 謙太郎^{1,2}・中村 由行³

¹正会員 横浜国立大学大学院 都市イノベーション学府 (〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-1)

²いであ株式会社 国土環境研究所 (〒224-0025 横浜市都筑区早渕2-2-2)

E-mail:ngo20503@ideacon.co.jp

³正会員 横浜国立大学大学院教授 都市イノベーション学府 (〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-1)

E-mail:nakamura-y@ynu.ac.jp

これまで知見が乏しかった海域に存在する2つの食物連鎖: classical-food-webとmicrobial-food-webの実態を把握するため、伊勢湾において微生物群集を対象とした観測が2014年・2015年に行われた。観測結果より植物プランクトン、動物プランクトン、原生動物、細菌といった微生物群集の存在量およびその季節変化が明らかとなった。とくにANFの発生の有無が、せん毛虫の捕食対象種の変化を介し、HNF, *synechococcus* sp.および細菌の現存量の変化に大きく寄与していることがわかった。さらに観測結果を入力値とした簡易な代数計算により微生物群集の生産量および捕食-被食量を推定した。

これら観測結果を検証材料として、伊勢湾の非定常的な食物連鎖を再現できるよう既存の数値モデル(生態系モデル)の改良を行った。計算結果により現状の伊勢湾ではclassical-food-webが優占していること、基礎生産から動物プランクトンへの転送効率はclassical-food-webがmicrobial-food-webよりも約8倍高いことなどが明らかとなった。

Key Words : classical food web, microbial food web, eutrophic, oligotrophic, ecosystem model, Ise-bay

1. はじめに

我が国では海域の富栄養化対策として、1979年より水質総量削減がなされてきたが、依然として貧酸素水塊や青潮といった水生生物への影響は改善されていない¹⁾。また水質総量削減により全国の沿岸域において窒素やリンの負荷量は減少したものの、同時に生物の生産力が減少した原因となっているとの指摘もある²⁾。このような現状において、「瀬戸内海環境保全特別措置法の一部を改正する法律」³⁾が成立し、さらに環境省では新たな水質環境基準として底層の溶存酸素濃度が取り入れられる⁴⁾など、海域の環境管理の在り方は近年大きく変化している。広島湾では生物の生産力と水質濃度の間に健全なバランスを図るために必要な陸域負荷量を算定した先行研究⁵⁾があるが、各海域において最適な栄養塩レベルを見出し、管理していくことが今後必要となる。

そもそも海域での生物の生産力を支える食物連鎖には、珪藻などのサイズが比較的大きい植物プランクトンを動物プランクトンが捕食する classical-food-web と、細菌やピコナノサイズの植物プランクトンを原生動物・せん毛虫が捕食し、それらを動物プランクトンが捕食する

microbial-food-web の2つが存在することは古くから知られている⁶⁾。一方で2つの食物網の存在状況と高次生物の生産力との関係性には未だ不明な点が多い。そのため海域での生物の生産力の回復にあたっては、湾内の栄養レベルの変化に対し、これら2つの食物網がどのように応答し、二枚貝や魚類などの生物の生産性がどのような影響を受けるかを把握することが必要となる。

本研究では伊勢湾を対象に、これら2つの食物網の実態を現地観測により明らかとしたうえで、これらの食物網を再現可能な数値モデルを構築することを目的とした。

2. 微生物群集の観測手法

図-1に示す伊勢湾の湾奥から湾口に至るライン上の4測点において、図-2に示す微生物群集(魚類を除く)を対象にした観測が2014年4月から2016年3月にかけて月1回ないし年4回の頻度で行われた。メソ動物プランクトンの採取は北原閉鎖式定量ネット(NXX13, 網目100 μ m)を用いて、海表面から海面下5.0mまでの鉛直曳きで行った。採取した試料はホルマリンで固定し、試料を実験室に持ち帰り、静置沈殿等の前処理を行い凝縮した。凝縮した

図-1 微生物群集の観測点

図-2 微生物群集の捕食・被食の関係

(図中の→は本研究で想定した微生物間の捕食・被食関係)

試料から一部を分取し計測に供し、実体顕微鏡下で種別の個体数を計測した。さらに種別に必要な部位の長さを測定し、重量と長さの関係式⁷⁾を用いて炭素量に変換した。マイクロサイズの植物プランクトン、せん毛虫、ANF(独立栄養性微小鞭毛虫類)、HNF(従属栄養性微小鞭毛虫類)、*synechococcus* sp.の採取はバンドーン採水器を用いて、海面下0.5m、海面下2m(または5m)の2層で行った。採水後、船上にて試料をグルタルアルデヒドで固定し、メゾ動物プランクトンと同様の前処理を行った。マイクロサイズの植物プランクトンは光学顕微鏡下で種別の細胞数を計測したのち炭素量に換算⁸⁾した。せん毛虫については採取された種群のうち、サイズが小さく北原閉鎖式定量ネットでは採取されない鞭毛虫類、せん毛虫、橈足類の中のCopepoda(nauplis)を対象として種別の個体数を計測し、メゾ動物プランクトンと同様の手法にて炭素量に変換した。ANF、HNF、*synechococcus* sp.の計数および炭素量への変換方法については福留らの手法⁹⁾に準じた。細菌についてはバンドーン採水器を用いて採水後、暗所保冷にて実験室に持ち帰り、全菌数を計測¹⁰⁾したのち、20fgC/ind.¹¹⁾を用いて炭素量に変換した。

図-3 水深0~5mでの微生物群集の経時変化

(●: 4測点の平均値, エラーバー: 4測点での最小・最大)

3. 微生物群集の存在状況と食物網の推定

(1) 微生物群集の存在状況

解析にあたり水深0.5m、水深5.0m(または2.0m)の2層で分析された結果を平均したものを水深0~5mの代表値として扱った。微生物群集の観測結果を図-3に示す。

珪藻・渦鞭毛藻といったマイクロサイズの植物プランクトンは最大 2251 μ gC/L (Stn.1にて)、湾の年平均値として 253 μ gC/Lと、観測した微生物のなかで当然ながら最も現存量が多く、2か年ともに春季・夏季に高くなる傾向を示した。次いで現存量が多いのはメゾ動物プランクトンであり、最大 272 μ gC/L (Stn.3にて)、湾の年平均値として 48 μ gC/Lと、マイクロサイズの植物プランクトンと同様に春季・夏季に多くなる傾向にあった。マイクロサイズの植物プランクトンとともに、メゾ動物プランクトンの餌料となるせん毛虫は、最大 43 μ gC/L、湾の年平均値が10 μ gC/L (Stn.3にて)であった。

その他の微生物を湾の年平均値として大きい順にみると、細菌 (31 μ gC/L)、ANF (12 μ gC/L)、*synechococcus* sp. (10 μ gC/L)、HNF (3 μ gC/L)の順であり、マイクロサイズの植物プランクトンに比べると約1~12%の現存量であった。またANFとHNFは類似した季節変化を示しており、2014年は春季に、2015年は春季から夏季に現存量が増加した。*synechococcus* sp.については、2014年はほとんど発生しなかったが、2015年には比較的長期的に発生していたといった特徴があった。

(2) 微生物群集の生産量および捕食―被食量の推定

図-2に示す微生物群集のすべての現存量が観測され、それらが定常状態にあると仮定した場合、魚類による動物プランクトンの捕食量ならびに各微生物の枯死・呼吸・排糞等の減耗量が与えられると、微生物群集の生産量および微生物間の捕食―被食量は代数的に算出できる。

まず微生物群集の現存量の変化は式(1)～(7)により再現されると仮定した。つぎに微生物群集の現存量は観測値と条件として定常状態を仮定する。自然死亡・枯死量は、式(8)に示す田中ら¹²⁾・永尾ら¹³⁾のモデル式・計算パラメーターを用いて観測日の水温から推定した。最後に表-1に示す計算パラメーターを用い、式(9)、(10)を含めすべての式を連立させることで、微生物群集の生産量および捕食―被食量の変数(式内の[]の変数)を算定した。

$$d\langle ZOO \rangle / dt = -Fish_{feeding} + ([ZOO_{grazing_PHY}] + [ZOO_{grazing_Ciliate}]) \times e_{ZOO} - ZOO_{mortality} = 0 \quad (1)$$

$$d\langle PHY \rangle / dt = -[ZOO_{grazing_phy}] + [PHY_{Net-pro.}] - PHY_{mortality} = 0 \quad (2)$$

$$d\langle Ciliate \rangle / dt = -[ZOO_{grazing_Ciliate}] + ([Ciliate_{grazing_ANF}] + [Ciliate_{grazing_HNF}]) \times e_{Ciliate} - Ciliate_{mortality} = 0 \quad (3)$$

$$d\langle ANF \rangle / dt = -[Ciliate_{grazing_ANF}] + [ANF_{Net-pro.}] - ANF_{mortality} = 0 \quad (4)$$

$$d\langle HNF \rangle / dt = -[Ciliate_{grazing_HNF}] + ([HNF_{grazing_Syn.}] + [HNF_{grazing_BAC}]) \times e_{HNF} - HNF_{mortality} = 0 \quad (5)$$

$$d\langle Syn. \rangle / dt = -[HNF_{grazing_Syn.}] + [Syn_{Net-pro.}] - Syn_{mortality} = 0 \quad (6)$$

$$d\langle BAC \rangle / dt = -[HNF_{grazing_BAC}] + [BAC_{growth}] - BAC_{mortality} = 0 \quad (7)$$

$$BIO_{mortality} = \alpha_{mort} \cdot \exp(\beta_{mort} \cdot T) \cdot \langle BIO \rangle \quad (8)$$

ここで<ZOO>はメソ動物プランクトンの現存量、<PHY>はマイクロサイズの植物プランクトンの現存量、<Ciliate>はせん毛虫の現存量、<ANF>はANFの現存量、<HNF>はHNFの現存量、<Syn.>の*Synechococcus* sp.の現存量、<BAC>は細菌の現存量である。なお<BIO>は微生物群集の総称である。またメソ動物プランクトンとせん毛虫のように、2種の微生物を捕食するものについては、

表-1 変数の概要

変数	内容
$ZOO_{grazing_PHY}$	ZOOによるPHYの捕食
$ZOO_{grazing_Ciliate}$	ZOOによるCiliateの捕食
$PHY_{Net-pro.}$	PHYの純生産
$Ciliate_{grazing_ANF}$	CiliateによるANFの捕食
$Ciliate_{grazing_HNF}$	CiliateによるHNFの捕食
$ANF_{Net-pro.}$	ANFの純生産
$HNF_{grazing_Syn.}$	HNFによる <i>Synechococcus</i> sp.の捕食
$HNF_{grazing_BAC}$	HNFによるBacteriaの捕食
$Syn_{Net-pro.}$	<i>Synechococcus</i> sp.の純生産
BAC_{growth}	細菌の成長
$Fish_{feeding}$	魚類によるZOOの捕食= 魚類の純成長量 (0~20[mgC/m ² /day]) ¹⁴⁾ ／総成長効率 (0.1) ¹⁵⁾
e_{ZOO}	ZOOの成長効率 (0.43) ¹⁶⁾
$ZOO_{mortality}$	ZOOの自然死亡 ($\alpha_{mort}=0.054$ [1/day], $\beta_{mort}=0.0693$) ¹³⁾
$PHY_{mortality}$	PHYの枯死 ($\alpha_{mort}=0.02$ [1/day], $\beta_{mort}=0.0693$) ¹³⁾
$e_{Ciliate}$	Ciliateの成長効率 (0.43) ¹⁶⁾
$Ciliate_{mortality}$	Ciliateの自然死亡 ($\alpha_{mort}=0.054$ [1/day], $\beta_{mort}=0.0693$) ¹³⁾
$ANF_{mortality}$	ANFの枯死 ($\alpha_{mort}=0.02$ [1/day], $\beta_{mort}=0.0693$) ¹³⁾
e_{HNF}	HNFの成長効率 (0.34) ¹⁶⁾
$HNF_{mortality}$	HNFの自然死亡 ($\alpha_{mort}=0.054$ [1/day], $\beta_{mort}=0.0693$) ¹³⁾
$Syn_{mortality}$	Syn.の自然死亡 ($\alpha_{mort}=0.02$ [1/day], $\beta_{mort}=0.0693$) ¹³⁾
$BAC_{mortality}$	細菌の自然死亡 ($\alpha_{mort}=0.1$ [1/day], $\beta_{mort}=0.0693$) ¹³⁾

※成長効率：捕食に対する排糞・呼吸を差し引いた成長量の比率

式(9)～(10)に示すように捕食対象微生物の現存量比に応じて捕食量の配分が決まると仮定した。ただし後述するが、せん毛虫によるANFとHNFの捕食については強い嗜好性が観測結果より確認されたため、嗜好係数： $\omega_{grazing_HNF}$ (0~1の値)を考慮した。

$$[ZOO_{grazing_phy}]:[ZOO_{grazing_Ciliate}] = \langle PHY \rangle:\langle Ciliate \rangle \quad (9)$$

$$[Ciliate_{grazing_ANF}]:[Ciliate_{grazing_HNF}] = \langle ANF \rangle:\langle HNF \rangle \times \omega_{grazing_HNF} \quad (10)$$

微生物群集の生産量および捕食―被食量の推定結果を図-4に示す。推定結果は4測点の平均現存量(図-3の●)を用いて推定された水深0~5m層内で生じた循環量であり、エラーバーは既往の知見の範囲内で魚類による動物プランクトンの捕食量が高いと仮定した場合と、低いと仮定した場合の変化幅を示している。

得られた0~5m層内での植物プランクトンの純生産量は季節的に0.04~1.12 gC/m²/dayで変動し、4測点での年平均値は0.51 gC/m²/dayであった(図-4(a))に5mを乗じて算定)。藤原ら¹⁷⁾は伊勢湾において6~10月に一次生産量(総生産量)を試算している。結果について伊勢湾全域で平均的にみると一次生産量はおよそ0.5~2.0 gC/m²/dayであり、総生産量と純生産量の差異(呼吸量・細胞外分

図-4 微生物群集の生産量および捕食・被食量の推定結果
(結果は水深0~5m層における湾の平均的な値で、エラーバーは魚類への転送量を0~20mgC/m³/dayと仮定した場合の変動幅である)

泌)を加味すると、本推定手法と藤原ら¹⁷⁾の推定結果は概ね一致すると考えられる。

これまで海域での微生物群集の捕食・被食量に関する知見は限られていたが、図-4を検証材料とし海域の食物連鎖を再現できる数値モデルの構築が可能と考えられる。

4. 数値モデルによる再現手法

(1) 微生物ループの再現に用いる数値モデルの概要

図-5 微生物間の相互関係

本研究にて推定した微生物群集の現存量および生産量および捕食・被食量(図-3, 図-4)を検証値として、田中ら¹²⁾、永尾ら¹³⁾の数値モデルのモデル式の改良ならびに計算パラメーターの最適化を行い、微生物ループの再現性の向上を図った。

なお再現性の検証にあたっては、伊勢湾・三河湾を水平方向に800mの正方格子、鉛直方向に32層に分割した計算格子を用いた。

(2) HNFの捕食嗜好性に関するモデル改良

図-3および図-5(a)に示すようにANFと*synechococcus* sp.は同時期に発生することはない、一見すると栄養塩の競合関係にあるように見える。しかしながら*synechococcus* sp.はHNFから強い捕食を受けており、HNFの存在により*synechococcus* sp.は増殖が制限されていることが伺える(図-5(b))。同様のことはHNFとせん毛虫の関係でも確認される(図-5(c))。これらのことからせん毛虫によるHNFへの捕食圧が高い場合、*synechococcus* sp.はHNFの捕食から逃れ、現存量が増加していると考えられる(トップダウンコントロール)。さらにせん毛虫はHNFよりもANFの捕食嗜好性が強いことが知られており¹⁸⁾、本観測結果でもANFが約20μgC/L以上ではHNFへの捕食圧が低下していることが伺える(図-5(d))。これらを踏まえると、ANFとHNFの類似した季節変化(図-3)およびANFと*synechococcus* sp.が同時期に発生することがない現象(図-5(a))については、ANFが増加することで、せん毛虫の捕食対象がHNFからANFに変化し、捕食を逃れたHNFが増加し、その結果として*synechococcus* sp.が減少した一連の食物連鎖の現れと推測される。

表-2 最適化した計算パラメーター

変数	計算パラメーター	単位	値
Micro-size phytoplankton	最大光合成速度	1/s	5.81×10^5
	最適水温	°C	25.0
	DIP摂取時の半飽和定数	molP/m ³	5.00×10^4
	DIN摂取時の半飽和定数	molN/m ³	5.00×10^3
ANF	最大光合成速度	1/s	4.24×10^5
	最適水温	°C	30.0
	DIP摂取時の半飽和定数	molP/m ³	1.00×10^4
	DIN摂取時の半飽和定数	molN/m ³	1.00×10^3
Synechococcus sp.	最大光合成速度	1/s	2.35×10^5
	最適水温	°C	30.0
	DIP摂取時の半飽和定数	molP/m ³	5.00×10^5
	DIN摂取時の半飽和定数	molN/m ³	5.00×10^4
Meso zooplankton	0°Cでの最大捕食速度	1/s	1.88×10^6
	イブレフ定数	m ³ /molC	6.00×10^1
Ciliate	0°Cでの最大捕食速度	1/s	2.16×10^6
	イブレフ定数	m ³ /molC	8.00×10^2
HNF	0°Cでの最大捕食速度	1/s	2.00×10^6
	イブレフ定数	m ³ /molC	1.20×10^3

図-6 Stn.2における微生物群集の現存量の再現状況
(—: 計算結果, ●: 観測結果)

これらの特徴を踏まえ、前述のせん毛虫によるHNFの嗜好性 ($\omega_{\text{grazing_HNF}}$) を式(11)のように定義し、田中ら¹²⁾の数値モデルに組み入れた。

$$\begin{aligned} \langle \text{ANF} \rangle \geq 20 \mu\text{gC/l} : \quad & \omega_{\text{grazing_HNF}} = 0.2 \\ \langle \text{ANF} \rangle < 20 \mu\text{gC/l} : \quad & \omega_{\text{grazing_HNF}} = 1.0 \end{aligned} \quad (11)$$

(3) 計算パラメーターの最適化

永尾ら¹³⁾が示した計算パラメーターを基本として、微生物群集の現存量、生産量および捕食-被食量の再現を図るため、表-2に示すように代表的な計算パラメーターを再調整した。synechococcus sp.は低濃度の栄養塩下でも光合成が可能であるという知見¹⁹⁾に基づき、栄養塩摂取の半飽和値を低く変更した。ANFの栄養塩摂取の半飽和

図-7 再現された微生物の生産量および捕食-被食量
(2014~15年における4測点の計算結果を平均し、その年平均値を棒グラフでエラーバーで季節変動幅を示す)

値については知見が乏しいため、マイクロサイズの植物プランクトンの半飽和値とsynechococcus sp.の半飽和値の中間的な値を採用した。また捕食者のイブレフ定数を観測された微生物群集の現存量と捕食量を踏まえ変更した。

(4) 微生物ループの再現状況

図-1に示したStn.2における微生物群集の現存量について計算結果と観測結果の比較を図-6に示す。HNFは計算値が観測値よりも過大となる場合がみられたが、その他の微生物については平均的な現存量やその季節変動を概ね再現できていると考えられる。前述したANFとHNFの正の相関関係や、ANFの増加に伴いsynechococcus sp.が低下する機構は概ね再現できているが、それらが発生する時期を的確に再現できていない点は課題であった。また図-7に水深0~5m層での微生物群集の生産量および捕食-被食量の計算結果(年平均値)を示すが、図-4に示した観測結果に基づく推定値と概ね整合する結果が得られた。

計算結果に基づき、冒頭に述べた2つの食物連鎖 classical-food-webと microbial-food-webに対して、基礎生産量(植物プランクトンと細菌の純生産量)から動物プランクトンへの捕食に至る転送効率を算定し表-3に示す。動物プランクトンへの転送率は microbial-food-webより classical-food-webが約8倍高いと推定された。

(5) 今後の検討課題

本研究では伊勢湾の4測点での観測結果を平均した上で概略的に食物連鎖を把握した。今後は伊勢湾で空間的な食物連鎖の違い、特に栄養塩が比較的豊富な湾奥部と

それと対照的な湾中央部を対比することで、栄養塩レベルの変化に対する食物連鎖の応答性を考察していきたい。

5. おわりに

本研究は伊勢湾における微生物群集の観測結果を利用し、これまで知見が乏しかった微生物群集の生産量および捕食-被食関係を代数計算により定量的に推定した。

これらの推定結果に加え、確認された微生物群集の変動特性を基に、既存の数値モデル(生態系モデル)を改良することで、伊勢湾の食物連鎖の非定常的な変化を概略的に再現することができた。

謝辞: 本研究に用いた観測データは中部地方整備局 港湾空港部より提供を受けた。本データの取得にご協力いただいた、いであ株式会社・(一社)全国水産技術者協会の方々に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 山室真澄, 石飛裕, 中田喜三郎, 中村由行: 貧酸素水塊—現状と対策, 生物研究社, 2013.
- 2) 山本民次: 瀬戸内海の栄養塩管理—持続的な海藻養殖に向けて—, 海洋と生物, 37 (3), 生物研究社, pp.207-208, 2015.
- 3) 環境省ホームページ, http://www.env.go.jp/water/heisa/-setonaikai_law_rev/kaiseiho-gaiyo.pdf
- 4) 環境省ホームページ, <http://www.env.go.jp/press/102287.html>
- 5) Kittiwanih, J., Yamamoto, T., Kawaguchi, O. and Madinabeitia, I.: Assessing responses of the Hiroshima Bay ecosystem to increasing or decreasing phosphorus and nitrogen inputs, *Journal of Marine Pollution Bulletin*, 102, pp.256-264, 2016.
- 6) Azam, F., Fenchel, T., Field, J. G., Gray, J. S., Meyer-Reil, L. A. and Thingstad, F.: The Ecological Role of Water-Column Microbes in the Sea, *Marine Ecology-Progress Series*, 10, pp.257-263, 1983.
- 7) 日本海洋学会編: 沿岸環境調査マニュアル〈底質・生物篇〉, 恒星社厚生閣, 1986.
- 8) 吉田健一: 東京湾における植物プランクトン群集の長期変動と環境との関係, 東京海洋大学博士論文, 2009.
- 9) 福留真樹, 畑恭子, 中田喜三郎: 1995 年 5 月~1996 年 3 月の伊勢湾における細菌, *Synechococcus*, ANF, HNF, 植物プランクトン, ネット動物プランクトンの変動と相互の関係, 海洋理工学会誌, Vo.6, No.1&2, pp.59-72, 2000.
- 10) 日本海洋学会編: 沿岸環境調査マニュアル II 4-1-1, 恒星社厚生閣, 2008.
- 11) Lee, S. and Fuhrman J.A.: Relationship between biovolume and biomass of naturally derived marine bacterioplankton., *Appl. Environ. Microbiol.*, 53, 6, pp.1298-1303, 1987.
- 12) 田中陽二, 中村由行, 鈴木高二朗, 井上徹教, 西村洋子: 微生物ループを考慮した浮遊生態系モデルの構築, 港湾空港技術研究所報告, 第 50 巻, 第 2 号, pp.368, 2011.
- 13) 永尾謙太郎, 田中陽二, 中田喜三郎, 恩田充: 伊勢湾での詳細な観測データに基づく微生物を含めた物質循環解析, 土木学会論文集 B2(海岸工学), 71(2), I_1411-I_1416, 2015.
- 14) 上真一: 瀬戸内海の低次生産過程—プランクトンから漁業生産へ—, 日本海水学会誌, 第 53 巻, 第 4 号, pp.241-247, 1999.
- 15) 水産庁漁港漁場整備部: 水産基盤整備事業費用対効果分析のガイドライン—参考資料—(オンライン), http://www.jfa.maff.go.jp/j/gyoko_gyozoyo/g_hourei/pdf/2016051301.pdf, 2016.
- 16) 加藤伸悟, 増田貴則: 微生物食物連鎖を含む概念的食網モデルの構築と細菌が食物網動態におよぼす影響, 土木学会論文集 G(環境), Vol.70, No.7, III_389-III_401, 2014.
- 17) 藤原建紀, 山尾理, 高橋鉄哉, 笠井亮秀, 杉山陽一, 原田一利: 一次生産量の時空間分布の算定手法, 海岸工学論文集, 第 46 巻, pp.1211-1215, 1999.
- 18) Šolić, M., Krstulović, N., Kušpilić, G., Nincević Gladan, Ž., Bojanic, N., Šestanović, S., Šantić, D., Ordulj, M.: Changes in microbial food web structure in response to changed environmental trophic status: A case study of the Vranjic Basin(Adriatic Sea), *Marine Environmental Research*, 70, pp.239-249, 2010.
- 19) Kretz, C. B., Bell, D. W., Lomas, D. A., Lomas, M. W. and Martiny A. C.: Influence of growth rate on the physiological response of marine *Synechococcus* to phosphate limitation, *frontiers in microbiology*, Vol.6, Article85, 2015.

(2017.3.15 受付)

MODELLING MICROBIAL FOOD WEBS IN ISE-BAY

Kentaro NAGAO, Yoshiyuki NAKAMURA

In order to clarify microbial food webs in Ise bay, behavior of microbial communities was observed in 2014 and 2015. Observations revealed the abundance and seasonal changes of microbial communities such as phytoplankton, zooplankton, protozoa and bacteria. In addition, production volume of the microbial community and amount of predator-prey interaction were estimated by simple algebra calculation. Utilizing these results, we improved a ecosystem model to predict the unsteady food chain of Ise Bay.