

鹿児島湾におけるシャトネラ赤潮と 河川からの栄養塩流入の特性

CHARACTERISTICS OF HARMFUL BLOOM OF CHATTONELLA AND NUTRINENT LOAD IN KAGOSHIMA BAY

安達貴浩¹・小橋乃子²

Takahiro ADACHI and Naoko KOHASHI

¹正会員 博士（工） 鹿児島大学准教授 大学院理工学研究科海洋土木工学専攻
（〒890-0065 鹿児島市郡元1-21-40）

²正会員 博士（工） 鹿児島大学プロジェクト研究員（〒890-0065 鹿児島市郡元1-21-40）

Since 1977, red tide of Raphidophyte “*Chattonella marina*” has often occurred in Kagoshima Bay and we started the field observation from 2007. In this paper, the mechanism to form such harmful algae was examined using the results of time-series on water quality and composition of plankton. In addition, the nutrient loads were examined. As a result, the following findings were made clear; 1) *C. marina* could not take relatively high DIP and DIN in deep water, because nutrient-cline was deeper than the vertical movement of *C. marina*, 2) it was confirmed the red tide of *C. marina* in 2008 was induced by the nutrient supply from the rivers, 3) unit effluent models for TN and TP and L-Q model for DSi were constructed for the representative rivers around Kagoshima Bay and those effectiveness was verified.

Key Words : Red tide, harmful algae, Raphidophyte, *Chattonella marina*, Kagoshima Bay, semi-enclosed bay, fishery, nutrient load, L-Q model, unit effluent model

1. 本研究の目的

鹿児島湾ではブリやハマチの養殖をはじめとする水産業が活発に営まれているが、1977年の*Chattonella marina*の発生以来しばしば有害赤潮が発生し、深刻な漁業被害が生じている。しかしながら、現地観測の結果が限られていることもあって、これまで鹿児島湾における赤潮の発生メカニズムには不明な点が多く残されていた。このような状況下において、安達ら（2009）¹⁾は、*C. marina*赤潮の発生期間における水質とプランクトン相について現地観測を行い、その結果に基づいて、鹿児島湾における*C. marina*赤潮の消長の要因について考察を行っている。この結果、2008年の*C. marina*赤潮は、主に水温の好適期間において、降水による河川流量の増加に伴い栄養塩の供給が増加し、栄養塩制限下にあった*C. marina*が増殖して発生した可能性が示された。さらに、既往の報告とは異なり（例えば、小野ら（1999）²⁾）、*C. marina*の赤潮発生時においても、植物プランクトンの中で珪藻が優占して出現しているという特徴的なプランクトン組成が観測された。

このように、安達ら（2009）¹⁾によって鹿児島湾における*C. marina*赤潮発生メカニズムが検討されているが、それはあくまでも2008年の*C. marina*赤潮の盛衰に対するものであり、同様の考察により、年毎の*C. marina*赤潮の発生の有無を説明できるとは必ずしも言えない。

このため本研究では、*C. marina*赤潮発生の重要なトリガーである栄養塩の供給プロセスに関して検討を行うとともに、*C. marina*赤潮の発生が確認されていない2009年の定点連続観測の結果を用いて、年毎の*C. marina*赤潮発生の有無を規定する要因について考察を行った。さらに、鹿児島湾での*C. marina*赤潮の発生に対して、陸域からの栄養塩の供給が支配的な役割を果たすと考えられたことから、本研究では、鹿児島湾周辺河川からの栄養塩の供給量を定量的に明らかにするモデルを構築した。特に、鹿児島湾では*C. marina*と珪藻との競合が重要であることから、窒素、リンに加えて、シリカの陸域からの供給特性に着目した。

2. *C. marina*赤潮の発生条件に関する検討

(1) 現地観測の概要

著者らは、2007年より赤潮多発地点に観測地点を設け（図-1、Stn.A），定点観測を実施している．具体的にはアレック社製・COMPACT-CTW，CLW，LWを係留し，水面下1mの水温，塩分，蛍光度，光量子の連続観測を行っている．また，ほぼ月に1回の頻度で，水深1m地点の海水を採水し，アンモニア態窒素，亜硝酸態窒素，硝酸態窒素，全窒素，リン酸態リン，全リン，珪酸塩，クロロフィル a ，CODを分析し，表層とクロロフィル a 極大層の植物プランクトン相の観測を行っている．また，月1回程度の割合で鹿児島県水産技術開発センターによる観測がなされていることから，Stn.A とほぼ同一地点と見なせるStn.11での観測値を必要に応じて活用した．

(2) *C. marina*赤潮発生時の栄養塩の供給プロセス

安達ら（2009）¹⁾により，2008年の鹿児島湾での*C. marina*赤潮は，河川からの栄養塩供給がトリガーとなって発生した可能性が高いことが示されている．一方，渡辺（1991）³⁾は*Chattonella*赤潮発生時の特徴的な海洋構造として，比較的浅い水深（5～7m）に安定した栄養塩成層が存在している状態を挙げている．これは，遊泳能力をもつ*Chattonella*が日周鉛直運動（最大で7.5mまでの鉛直移動³⁾）により他の植物プランクトンよりも優位に栄養塩を摂取し，その結果，赤潮が形成されることを意味している．安達ら（2009）¹⁾は，降雨と表層栄養塩の時系列データから栄養塩の供給プロセスを考察しているが，渡辺（1991）³⁾が示すような栄養塩成層についての議論は十分でなかった．このため，以下にその検討を行った．

図-2に2008年におけるStn.Aの σ_t およびStn.11のDIPの鉛直分布を示す（ただし，DIPはStn.Aにおける水面下1mの値も併記している）．なお，DINもDIPと同様の鉛直分布となることが確認されている． σ_t の分布を見ると，表層近傍を除けば水面下10～15m付近で密度勾配が大きくなっており，この区間に密度躍層が形成されていたと考えられる．次にDIPの鉛直分布を見ると，深さ10mから20mにかけてDIPが急増していることから，栄養塩成層はこの区間に形成されていたと考えられる．つまり

2008年の赤潮形成期間における栄養塩成層は，5～7mよりも深い地点に形成されることから，渡辺（1991）³⁾が指摘するメカニズムでは鹿児島湾の*C. marina*赤潮を説明できない．一方，通常は上記のような栄養塩分布が形成されているのに対し，6月23日においてのみ水面下1mのDIPが大幅に増加していたことが見て取れる．この時，表層で急激な塩分低下が見られたこと，さらに6月23日 σ_t の分布には鉛直混合の影響が見られないことから，このようなDIPの急増は，鉛直混合ではなく，陸域からの栄養塩供給の増大によってもたらされたと解釈できる．

ところで，山口ら（1991）⁴⁾の培養実験から*C. marina*は30 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ 以上の光条件でなければ増殖できないことが示されているが，赤潮発生期間の平均的な観測値から推定すると，この光量は10m以浅に出現していると算定された．このことから，2008年の*C. marina*の爆発的な増殖は，6月23日までの河川流量の増大に伴って，光環境が好適な0～10mの栄養塩濃度が増加することによりもたらされたと解釈することができる．なお，2009年6月の観測結果においても2008年と同様に，水面下10～15m付近に密度躍層が形成されており，深さ10mと20mの栄養塩濃度に大きな差が生じていた．このため，2008年6月（6月23日以外）の観測結果は，鹿児島湾湾奥部の6月における典型的な σ_t と栄養塩の鉛直分布を表していると推察される．

(3) *C. marina*赤潮発生の有無を規定する要因

安達ら（2009）は，塩分・水温，光環境，栄養塩環境のそれぞれが制限因子となる場合の*C. marina*の比増殖速度を算定することにより，2008年の*C. marina*赤潮の発生要因を検討した．しかしながら，2008年の赤潮発生期間には，*C. marina*ではなくむしろ珪藻類が優占しており，*C. marina*の比増殖速度のみで鹿児島湾における赤潮発生の有無を議論できない可能性も考えられる．そこで，次に*C. marina*が発生しなかった2009年においても安達ら（2009）¹⁾と同様の検討を行い，この点を調べた．

図-3に塩分・水温が制限因子となる場合の*C. marina*の比増殖速度，ならびに栄養塩が制限因子となる場合の比

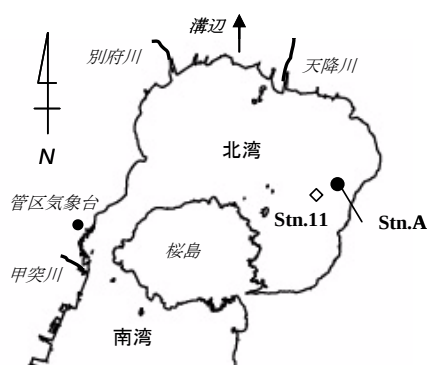


図-1 鹿児島湾の桜島周辺海域

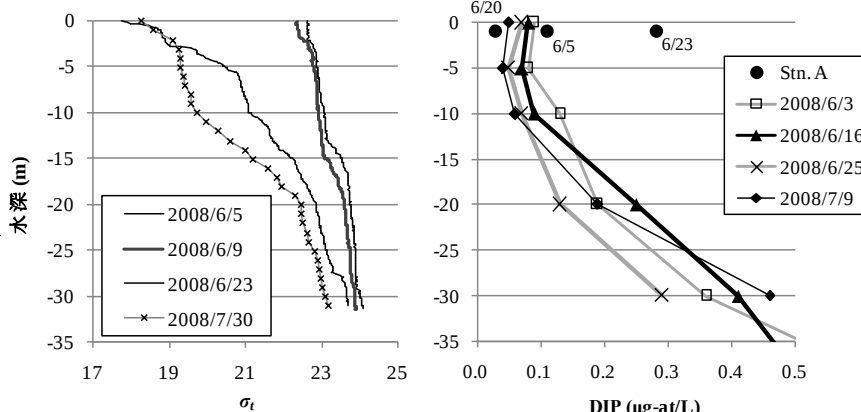


図-2 2008年における σ_t とDIPの鉛直分布

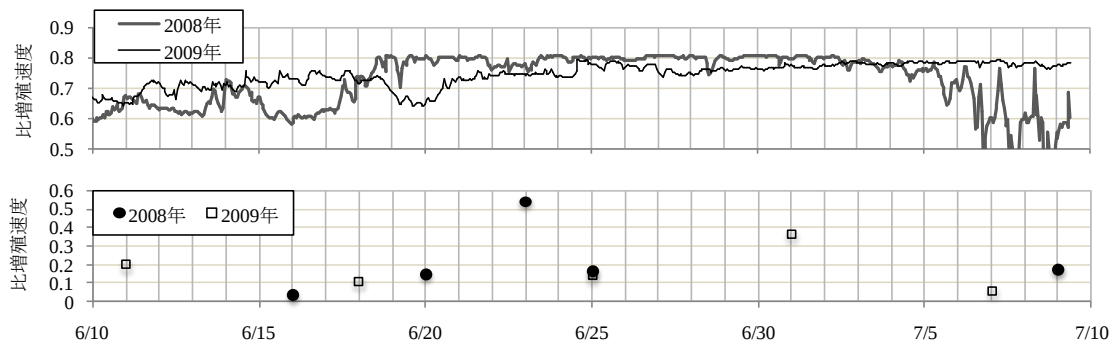


図-3 *C. marina*の比増殖速度の経時変化

(上図：塩分・水温が制限因子となる場合、下図：栄養塩が制限因子となる場合)

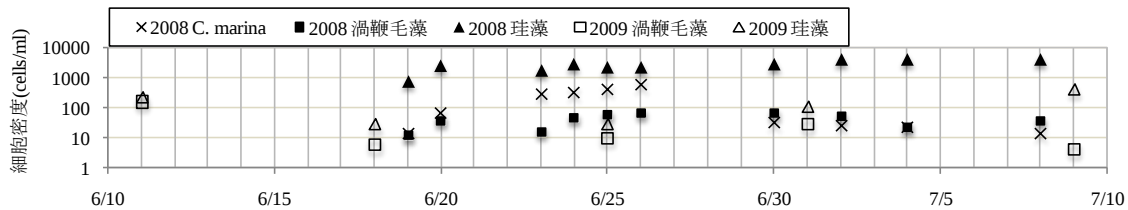


図-4 植物プランクトンの細胞密度の経時変化

増殖速度の経時変化を示す（なお、比増殖速度の算出においてはStn.Aにおける水面下1mの観測値を用いた。具体的な算出方法は安達ら（2009）¹⁾を参照のこと）。2009年の水温は、6月初旬には比較的高い値を示していたが、*C. marina*の最適水温である25℃に到達したのは2008年より遅く7月初旬であった。また、2009年6月の降雨量は2008年に比べて少なく、このため2009年の表層塩分は6月においても比較的高い値を維持していた。このような塩分と水温の変化を反映して、塩分・水温を制限因子とした場合の比増殖速度は、6月下旬には2008年よりも2009年の方が低い値を示し、逆に7月以降は2008年よりも2009年の方が比較的高い値を維持していた。一方、栄養塩を制限因子とした場合の比増殖速度は、2009年では7月1日において最大値0.36を示したが、それ以外では全体的に低い値を示していた。一方、光環境による比増殖速度は両年ともほぼ同程度であり、日中には水面下1mで0.8以上の値を示していた。

以上のように、2008年と2009年において光環境に有意な差は認められず、また好適となる時期に違いが見られるものの、好適期間内であれば、2008年と2009年の水温・塩分に対する比増殖速度の値の差は小さい。2008年と2009年で最も差が見られるのは、栄養塩に関する最大の比増殖速度であるが（2008年：0.54，2009年：0.36）、2008年には栄養塩の比増殖速度が0.16程度でも*C. marina*が増殖していることから、最大の比増殖速度の違いが赤潮発生の有無を決定しているとは考えにくい。ただし、上記のような栄養塩の瞬間的な値ではなく、栄養塩負荷の履歴が赤潮発生の有無に影響した可能性は十分に考えられる。事実、2008年と2009年の累積降雨量には大きな差があり（2008年6月：630mm，2009年6月：239mm）、結果として栄養塩の総流入量も大きく異なっていたと推

察できる。また、*C. marina*の細胞分裂を1日1回とした場合、1mlの試水中に1細胞が検出されてから100細胞/mlを超えるまでには1週間程度かかることから、栄養塩の履歴が赤潮発生の有無を規定する重要な要因となる可能性は十分に考えられる。

次に、栄養塩の競合相手である珪藻類の影響について考察する。2008年と2009年の表層地点（0mもしくは水面下1m）における植物プランクトンの細胞密度の経時変化を図-4に示す。図-3に示す栄養塩に関する比増殖速度の増減からも推定できるように、2009年7月1日に増えた栄養塩は7月7日にはほぼ消費されているが（7月1日：DIN=2.07，DIP=0.129，7月7日：DIN=0.62，DIP=0.02 単位は $\mu\text{g-at/l}$ ），同期間を含む2009年7月1日から7月9日にかけて、珪藻類は約4倍に増殖していた（渦鞭毛藻は5分の1に減少）。このため、この期間の栄養塩は、珪藻によって優先的に使用されたものと推察される。一方、*C. marina*赤潮が発生した2008年には、栄養塩の比増殖速度が増加した6月23日以降、珪藻類の細胞密度はほぼ同程度の値で推移していた（図-4）。このような違いを検討するために、2008年と2009年における珪藻の優占種を比較すると、2008年では比較的大きな細胞の大きい*Hemiaulus sp.*や*Leptocylindrus spp.*であったのに対し、2009年では細胞の小さい*Chaetoceros spp.*や*Nitzschia sp.*であった。一般に、同じ珪藻であっても、細胞の大きさが小さい珪藻ほど増殖速度が大きくなることを考慮すると、栄養塩増加時に既に優占している植物プランクトン種によって赤潮発生の有無が規定されている可能性も考えられる。

以上のように、2008年と2009年における*C. marina*赤潮の発生の有無が生じた原因として、栄養塩濃度の履歴の影響と植物プランクトンの競合関係の両方の影響が考えられる。しかし、これらの影響を本研究のように観測結

果の解析のみで明らかにすることは難しい。特に栄養塩濃度の連続的変化を観測することには限界があることから、今後の数値シミュレーションの有効利用を意図して、次に鹿児島湾への河川からの栄養塩負荷流入量の定量評価手法の構築を試みた。

3. 陸域からの窒素とリンの負荷流入特性

(1) L-Qモデルを用いた窒素とリンの負荷の評価

図-5に鹿児島湾への流入河川を示す。これら河川の内、9河川（表-1）については、2003年から2004年にかけて、水質と河川流量に関する観測が比較的高頻度に（2ヶ月に1回の割合）実施されている。このため、この結果を用いて、全窒素（TN）と全リン（TP）を対象に、以下の式で表されるL-Qモデルを構築した。

$$L = 10^b Q^a \quad (1)$$

ここで、 $L(\text{kg/min.})$ ：負荷量、 $Q(\text{m}^3/\text{min})$ ：河川流量、 a 、 b ：モデルパラメータである。

得られたモデルパラメータの値を表-1に示す。回帰モデルに対して実測値のバラつきが大きい河川については（一例として、後出の図-6参照）、今後この原因を明らかにする必要があるが、表-1に示すモデル定数により、2003年から2004年にかけての負荷量を評価することが可能となった。しかしながら、L-Qモデルのモデルパラメータは、流域人口や水処理施設の建設等によって経年的に変化するため、表-1のモデルパラメータは過去の負荷量推定には適用できない。一方、鹿児島湾では、*C.marina*赤潮は数年に1度しか発生せず、赤潮についての観測結果が限られていることから、過去の負荷流入量を定量評価し、赤潮との関連性を明らかにすることは、赤潮発生メカニズムの解明のために不可欠である。これらを踏まえ、次に発生原単位モデルを構築し、その経年的な負荷推定に対する適用可能性を調べた。

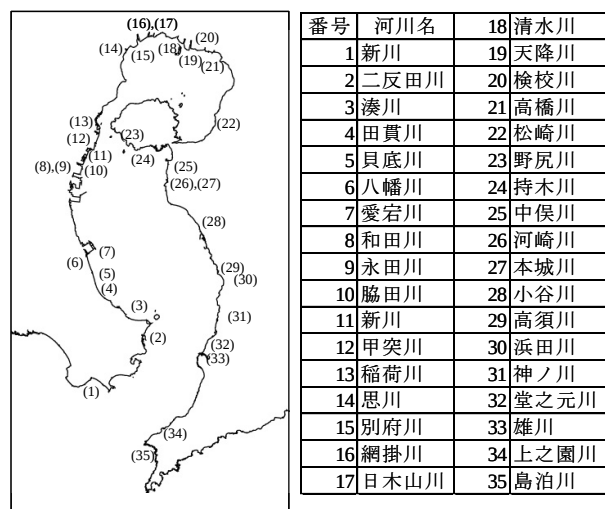


図-5 鹿児島湾と流入河川

(2) 甲突川を対象とした発生原単位モデルによる窒素とリンの負荷量の推定

鹿児島湾流入河川の内、甲突川においては、1980年代と2000年代に高頻度の河川水質観測が実施されている。この結果を用いて年代毎のL-Qモデルを構築し（図-6）、河川流量から各年代の負荷量を算出した。なお、1980年代には鹿児島湾流入河川の流量観測は全く実施されていないことから、本研究ではタンクモデルにより各河川の流量を推定した。

ところで、鹿児島県では、発生原単位の基となる詳細な統計データが「第4期鹿児島湾ブルー計画」のため収集されているが⁵⁾、具体的な統計調査は2003年にしか実

表-1 L-Qモデルの適用結果（2003～2004年）

河川名	項目	a	b	年平均流量 (m ³ /s) ⁵⁾
稲荷川	TN	0.4234	0.5414	1.06
	TP	-0.6893	0.2757	
甲突川	TN	0.7444	0.7037	4.70
	TP	-0.6810	0.8165	
永田川	TN	-0.1258	0.2101	1.09
	TP	-0.8248	0.8867	
思川	TN	0.3879	0.8068	2.29
	TP	-0.4492	0.7853	
新川	TN	1.5579	0.1873	0.79
	TP	0.3426	0.1667	
神ノ川	TN	1.0156	0.6723	なし
	TP	0.8231	0.0768	
天降川	TN	2.2531	0.3084	14.90
	TP	-0.6798	0.8425	
八幡川	TN	-0.0029	1.0013	0.61
	TP	-1.4929	1.1602	
別府川	TN	0.0706	0.8692	5.83
	TP	-1.3770	1.0579	
本城川	TN	1.9095	0.2159	2.51
	TP	0.8197	0.1633	

表-2 発生原単位モデルの概要

分類	負荷算定方法	出展
生活系	(各種水処理人口) × (原単位) × (除去率)	6)
工業系	(製造品出荷額) × (原単位) (註) 企業物価指数にて補正	6)
農林系	(作付面積) × (原単位)	7)
	(山林面積) × (原単位)	7)
畜産系	牛：(成畜頭数) × (原単位) × (流出率)	7)
	豚：(成畜頭数) × (原単位) × (流出率) (註) 糞尿処理方法により流出率を変える	7)

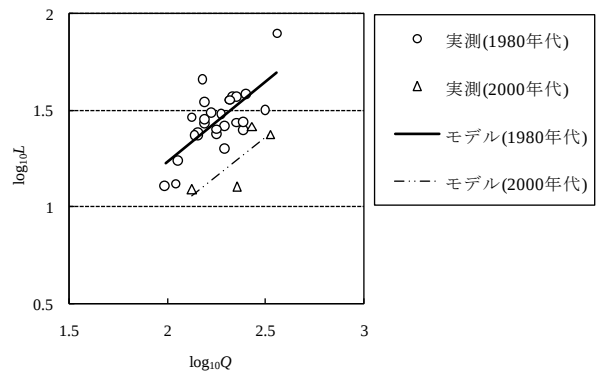


図-6 甲突川での年代毎のL-Qモデルの比較（TPの場合）

施されていない。したがって、本研究では、経年データの取得が可能である各種統計資料のデータを活用した。これらの資料では、「第4期鹿児島湾ブルー計画」における調査よりも、統計データの分類項目が粗いため、「第4期鹿児島湾ブルー計画」と各種統計資料^{9, 7)}のデータを比較し、所定の仮定を設定した上で補正を行った。紙面の都合上、負荷量算出の詳細は割愛するが、陸域からの負荷を大きく、畜産系、農林系、工業系、生活系の4つに分類し、表-2に示すような発生原単位と統計データを用いて、TNとTPの負荷量を算出した。得られた結果を図-7に示す。甲突川からの栄養塩負荷は、1980年代から2000年代にかけて、大きく減少しているが、適用した発生原単位法により、L-Qモデルによって求められた負荷の経年的な減少傾向を再現できていることが分かる。なお、負荷の分類において、生活系の負荷が全体の50～70%を占めていること（図示省略）、1980年代から2000年代にかけての負荷減少の主要因は、下水道処理人口の増加に伴う生活系負荷の減少であることが確認された。

(3) 甲突川以外の河川を対象とした発生原単位モデルによる窒素とリンの負荷量予測

次に、表-1に示す9河川を対象に、構築したモデルの妥当性を検証した。河川毎の負荷量に若干の違いはあるものの（図示省略）、対象とした河川の合計の負荷量は、

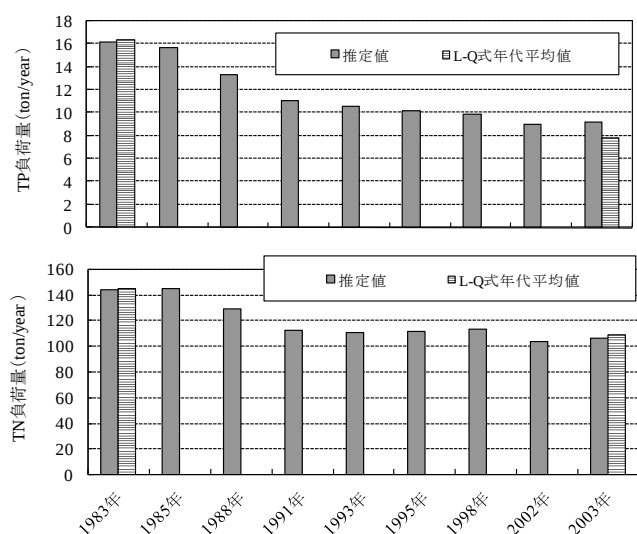


図-7 甲突川での年代毎の負荷量推定

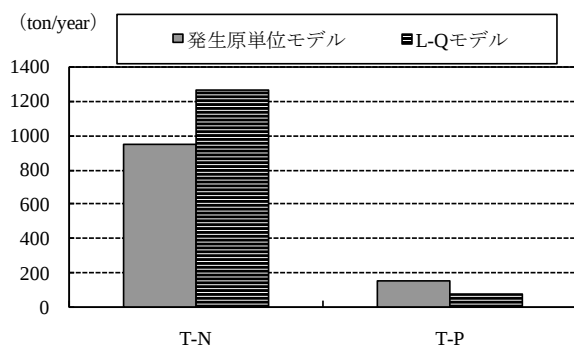


図-8 代表河川の総負荷量の予測結果

L-Qモデルと発生原単位モデルとで概ね一致しており（図-8）、このことから、構築した発生原単位モデルは、鹿児島湾周辺の全陸域からの負荷量の推定にも有効であると判断している。

(4) 発生原単位モデルによる負荷量予測についての考察

以上のように、構築した発生原単位モデルは、甲突川流域における負荷量の経年変化の推定に有効であることが明らかとなった。しかしながら、構築した発生原単位モデルでは、負荷量Lが河川流量Qに依存しておらず、このためL-Qモデルが示すような流量変動に伴う負荷量の短期変動を再現することはできない。C. marina赤潮の発生予測に対して、1日内の栄養塩負荷量の短期変動が重要であり、本研究の結果を基にして、今後さらにモデルを改良する必要がある。

4. 陸域からのシリカの負荷流入特性

(1) 観測の概要

以上のように、植物プランクトンの主要な栄養源となる窒素とリンの負荷量を、発生原単位モデルにより概ね推定できることが明らかとなった。しかしながら、前述のように、鹿児島湾におけるC.marina赤潮の発生メカニズムを明らかにするためには、その競合プランクトンである珪藻の発生状況についても議論する必要がある。すなわち、上記のような窒素、リンに加えて、陸域からのシリカの供給についても明らかにする必要がある。

したがって、本研究では、鹿児島湾流入河川の中で最大の河川流量を示す天降川を対象に、2009年6月に河川水質の高頻度観測を実施した。観測地点は、天降川河口地点（新川橋）であり、右岸側の表層水を採水し、溶存態の珪酸濃度（DSi）を分析した。この期間を観測期間としたのは、鹿児島湾では6月にC.marina赤潮が形成されやすいことに加えて、梅雨時期では流量変動が大きく、幅広い河川流量に適用可能なL-Qモデルの確立が期待されたこと、流量変動に伴う水質の増減の傾向性を把握しやすいと考えられたことが挙げられる。なお、採水時に電気伝導度と水温を同時計測したが、海水の影響は全くないことが確認されている。

(2) 観測結果とDSiのL-Qモデルの構築

データの取りまとめにおいて、観測期間の河川流量の値は、鹿児島県によって配信されている天降川・東郷地点の水位と、流量（支川である霧島川と天降川本川との和）との関係からHQモデルを作成することにより推定した。得られた結果を用いて、降雨、河川流量、DSi濃度の経時変化を比較したところ、降雨による河川流量の増大に伴って、DSi濃度は減少することが確認された（図示省略）。

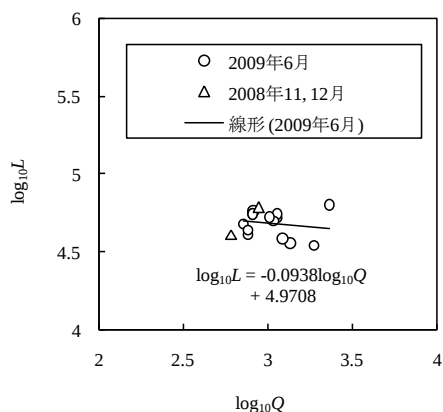


図-9 天降川でのDSiのL-Qモデル

このような関係を、定量評価するために、DSi負荷量についてもL-Qモデルを作成した(図-9)。この結果、若干ばらつきはあるものの、シリカの負荷量は、河川流量の大きさに関わらず、ほぼ一定となっていることが分かった。この結果に基づけば、DSiは主に基底流出によって河川に供給され、DSi濃度の低い表面流出や中間流出によって希釈されていると解釈することができる。一般に、火山地帯における河川のDSi濃度は高いことから、人為的なシリカの供給の影響は相対的に小さく、上記のような結果が得られたものと考えられる。また、図-9には、2008年11,12月の観測結果もプロットしているが、2009年6月に比べて、誤差の範囲内のLの値を示すことから、天降川におけるDSi負荷に対して季節の違いによる影響は小さいものと考えられる。

ところで、河川水のDSi濃度が30mg SiO₂/L以上の場合には、熱水の影響を受けている可能性が高いことが指摘されている⁹⁾。この指摘から判断すると、天降川でのDSi濃度が高い原因として、流域がシラス台地で覆われていること、さらには周辺が温泉地帯であり、基底流出に含まれる物質が熱水の影響を強く受けていることの両方の影響が考えられる。

(3) DSi濃度の経年変化の推定

次に、同一地点における過去のDSi濃度と上記観測結果との比較を行った⁹⁾。過去の観測では、DSi濃度は46.2～61.4mg SiO₂/Lの範囲の値を示しているが、この期間、河川流量や流域内での降雨の観測は実施されておらず、上記L-Qモデルを過去の負荷量予測にも適用できるかどうかを検討することはできない。過去の観測結果は本研究の結果よりも多少低い濃度を示しているが、過去の観測では海水によるDSi濃度の希釈の影響が確認されていること、また上記のように基底流出の負荷の寄与が卓越していると考えられることから判断すると、本研究で構築したDSiに対するL-Qモデルは、過去の赤潮の要因解析に対しても十分適用可能であると推察される。

4. 結論

本研究により以下のような知見が得られた。

- 1) 2008年における*C. marina*赤潮は、鉛直混合による下層からの栄養塩供給というよりも、河川流量の増大にともなって0～10mの栄養塩濃度が増加することにより発生したことが確認された。また、鹿児島湾湾奥部では栄養塩成層が深く、このため*C. marina*は鉛直遊泳によって成層以深の高濃度の栄養塩を通常摂取することはできないことが確認された。
- 2) 赤潮が発生した2008年と発生しなかった2009年を比較した結果、両年の*C. marina*赤潮の発生の有無に対して、栄養塩濃度の履歴が影響している可能性が示唆された。
- 3) 発生原単位モデルにより、過去から現在までの鹿児島湾におけるリンおよび窒素の流入負荷量を予測可能なことが示された。
- 4) 現地観測の結果、天降川におけるDSiの供給に対して、基底流出に含まれるDSiの寄与が卓越している可能性が示された。さらに、得られたデータからDSiを対象としたL-Qモデルが構築された。

謝辞：本研究の遂行にあたり、牛根漁業協同組合の皆様および鹿児島大学4年・福原徳一郎君、卒業生・畠中伸晃君には現地調査の実施において多大なるご尽力をいただきました。また、鹿児島県環境管理課、河川課、ならびに鹿児島県水産技術開発センターには貴重なデータを提供していただきました。ここに深甚なる謝意を表します。なお、本研究は社団法人九州地方計画協会の補助を受けて行われたものであることをここに付記します。

参考文献

- 1) 安達貴浩ら：鹿児島湾における有害赤潮発生時の水質とプランクトン組成の現地観測，水工学論文集，第53巻，pp.1507-1512, 2009.
- 2) 例えば，小野知足ら：播磨灘西域における *Chattonella antiqua* の高密度発生と水質，気象要因等との関係，日本水産学会誌，Vol.64(4)，pp.665-672, 1999.
- 3) 渡辺正孝：赤潮の発生機構- 播磨灘におけるシャトネラ赤潮の発生機構，月刊海洋，Vol.24, No.1, pp.43-49, 1992.
- 4) 山口峰生ら：有害赤潮ラフィド藻 *Chattonella antiqua* と *C. marina* の増殖速度に及ぼす水温，塩分および光強度の影響，日本水産学会誌，Vol.57(7)，pp.1277-1284, 1991.
- 5) 鹿児島県：第4期鹿児島湾ブルー計画（資料編），2005.
- 6) 鹿児島県：鹿児島県統計年鑑
- 7) 鹿児島県農政事務所：鹿児島県農林水産統計年報
- 8) 大垣眞一郎（監修）：河川と栄養塩類，技報堂出版，2004.
- 9) 鹿児島県工業技術センター：鹿児島県工業試験場 第17号，1970.

(2010. 9. 30)