

A-5 紫外線が生態系に及ぼす影響に関する研究

(3) 紫外線増加が海洋基礎生産量に与える影響に関する研究

① 紫外線増加が植物プランクトンと動物プランクトンの相互関係に与える影響の評価に関する研究

研究代表者 北海道区水産研究所海洋環境部生物環境研究室 斎藤宏明

水産庁北海道区水産研究所

海洋環境部生物環境研究室 津田 敦・葛西広海

(委託先) 広島大学生物生産学部 上 真一

平成8-10年度合計予算額 9,305千円

[要旨]

オゾン層破壊に伴う紫外線放射量の増大は海洋生態系を構成する生物の生産や生残に影響を与えるばかりではなく、植物プランクトンと動物プランクトンの相互関係に変化を及ぼし、海洋生態系に重大な擾乱を与えることが危惧されている。本研究は、紫外線が海洋生態系の重要な構成種である動・植物プランクトンに対する直接的影響および動・植物プランクトンの相互関係へ及ぼす影響の評価を目的として行った。

海洋のネット動物プランクトンとして最優占するカイアシ類は、卵からノープリウスを経て成体に至るまで通常 13 の発育段階を有しているが、その中で遊泳能力が完全に欠如してしかも色素含量の低い卵のステージが最も紫外線に対して脆弱であることが明らかになった。瀬戸内海や島根県中海で採集した 8 種類のカイアシ類について、卵の孵化に及ぼす紫外線の影響を調査した結果、水柱に広く分布するカイアシ類の卵は紫外線の影響を強く受け、一方極表層性カイアシ類の卵はほとんどその影響を受けなかった。表層性種は紫外線吸収物質であるマイコスポリン様アミノ酸と活性酸素を沈静化する働きを持つカロチノイド色素の含量が高いため、紫外線に対する耐性が高いのではないかと推定された。カイアシ類の成体雌の生理活性速度の指標として摂餌量と産卵速度に及ぼす紫外線の影響を調査し、高い紫外線ドーズ下ではそれらの活性は低下することを明らかにした。また微小動物プランクトンの一群である有鐘繊毛虫類の 1 種 (*Favella taraikaensis*) を異なる紫外線条件下で培養した処、本種は日間 UVB ドーズ 1.1 kJ m^{-2} 以上では全く増殖できなかったため、動物プランクトンの中では特に原生動物が紫外線増大の影響を顕著に受けるのではないかと推定された。親潮域では紫外線の効果は平均値としては一次生産者とその捕食者に対して同等であるが、若干、

動物に対しての効果が大きいと考えられること、個々の実験結果では、紫外線の効果が一次生産者と捕食者に対して異なること、紫外線感受性の季節変化が両者で異なることなどから、植物が増えるとか動物が増えるといった方向性は一定ではないが、明らかに海洋表層の低次栄養段階の生物の構成に影響を及ぼしていたことを明らかにした。さらに、微小動物プランクトン中、最も卓越する無殻繊毛虫が、紫外線による影響が最も顕著であることを現場で確かめた。

以上の結果から、植物プランクトン同様に動物プランクトンも紫外線の影響を顕著に受け、場合によっては動物プランクトンの方が植物プランクトンよりも脆弱であることも示され、今後の紫外線の増大は海洋の低次生産段階において変化を引き起こす可能性が示唆された。

[キーワード]：紫外線、プランクトン、食物網、生残率、摂餌率

1. 序

低次海洋生態系の特徴として、構成種の高い成長速度と安定した生物量を挙げることができる。この一見矛盾した特徴は、海洋生態系が小型で世代時間の短い生物によって構成されていること、およびこれらの構成種による、生物量の数十～数百%の日間生産量の大半が、数時間から1日以内に食段階上位の生物に転送されるか、無機化されることによって、ひとつの食段階に蓄積されることがないという事によって達成される。すなわち、海洋生態系は植物プランクトンによる高い基礎生産速度と動物プランクトンによる高い摂食圧によるバランスの上に成り立っているといえる。この“バランス”は、従来栄養塩が枯渇している熱帯・亜熱帯域に特徴的な現象であるとされていたが、近年の研究でこの“バランス”が栄養塩の豊富な冷水域でも一般的にみられることが明らかになりつつある。紫外線の影響は種によって、そして水温、可視光照度等の環境要因によっても変化する。従って、成層圏オゾン量の減少に伴う、生物圏への紫外線放射量の増大は、現在まで長い時間をかけて形成された、様々な植物プランクトン種による生産と動物プランクトン種による消費の平衡関係に重大な擾乱を与え、海洋生態系を大きく変化させることが危惧される。

2. 研究目的

現在のレベルの太陽紫外線放射は、植物・動物プランクトンそれぞれへ直接的な影響を与えていることがこれまでの我々の前フェーズまでの研究で明らかになっている。既報の多くに研究において、海洋の主要基礎生産者である植物プランクトンは、紫外線(UVB)に対して脆弱であることが明らかにされている^{1) 2) 3)}。UVBによる基礎生産の低下は植食性動物プランクトンの餌供給量の低下をもたらし、それによってもたらされる動物プランクトンの生産の低下は、最終的に魚類生産の低下を引き起こすことが予測され、UVBの増大は海洋生態系全体の生産性の低下に繋がるのが危惧される。また動物プランクトンも直接UVBの有害作用

を受け^{4) 5) 6) 7) 8) 9)}、場合によって植物プランクトンと同等かあるいはそれよりも脆弱であることも予測される。海洋動物プランクトンに及ぼす UVB の増大の影響を評価するには、動物プランクトン群集の中で重要な生態的地位を占め、しかも UVB に対して脆弱な分類群あるいは生活史ステージを対象として調査することが重要である。

今期は、紫外線増加が植物プランクトンと動物プランクトンの相互関係に与える影響の評価に関し研究を行ってきたが、北海道水産研究所の担当者は冷水域における野外調査を主体として、太陽紫外線が植物プランクトンと動物プランクトンの相互関係に与える影響を明らかにした。また広島大学の担当者は暖水域に出現するカイアシ類と有鐘織毛虫類の生残、摂餌、再生産、増殖などに及ぼす紫外線の影響を、主として室内実験により明らかにした。

3. 太陽紫外線が植物プランクトンと動物プランクトンの相互関係に与える影響

3-① 研究方法

太陽紫外線が植物プランクトンと動物プランクトンの相互関係に与える影響を明らかにするため、北海道太平洋岸の厚岸湾(水深 16m)と外洋域である親潮流軸上において(主に北緯 42°30'、東経 145°00')において希釈法を用いた実験を5, 7, 8, 10月に行い、植物プランクトンと動物プランクトンの相互関係に与える紫外線の影響を調べた。植物プランクトンの生物量(P)は、群集増殖速度(k)および群集被捕食速度(g)によって変化する、

$$P_t = P_0 \cdot e^{(k-g)t}$$

ここで t は時間を示す。植物プランクトンの群集被捕食速度、すなわち動物プランクトン群集による植物プランクトンの摂食速度は動物プランクトンの密度に依存するため、現場海水を希釈することによって群集被捕食速度を変えることができる。すなわち $1/t \ln(P_t/P_0)$ は 100% 現場海水では $k-1.0g$ で示されるが、50%に希釈した場合には $k-0.5g$ となり、25%に希釈した場合は $k-0.25g$ となる。様々な希釈率で培養実験を行い、希釈率と見かけ上の植物プランクトンの増殖速度との間で回帰直線を求めると、この切片が植物プランクトン群集増殖速度(k)であり、傾きが群集被捕食速度(g)となる。この希釈法を用いた実験を、紫外線を透過する石英瓶(+UV)と、UVB をカットするためにルミラーシートを巻いた石英瓶(-UV)を用いて行った。それぞれの瓶は、表面海水を流した水槽に入れて、日出前から 24 時間培養を行った。実験前と実験後にクロロフィルと POC を測定し、増殖速度と被捕食速度を測定した。また、安定同位体 ^{13}C を添加して光合成速度を測定し、希釈法によって得られた増殖速度との比較も行った。さらに倒立顕微鏡を用いて動物プランクトン種を同定し、それぞれの増殖率を調べることによって、紫外線が動物プランクトンに与える影響を分類群毎に調べた。

実験中の光環境は LiCor の quantum PAR sensor および International Light の radiometric UVB, UVA, PAR センサーを用いて連続的に測定した。また、厚岸湾では空中と水深 30cm に

Biospherical Instruments の分光紫外線計を設置して連続して照度を測定した。各測点における紫外線及び可視光の鉛直消散係数は Biospherical Instruments の分光紫外線計を用いて測定した。

3-② 結果と考察

^{13}C 取り込み実験は計 5 回行い、植物プランクトンの増殖速度は夏季に高く 0.8-1.2 day^{-1} を示し、春季と秋季では比較的低くなった。紫外線の除去によって、平均では 16% 増殖速度が増加したが、夏季には紫外線除去の効果は比較的小さかった。夏季の平均は -0.6%、その他の時期の平均は 32% であった。データ数が少ないため、結論はできないが、夏季には水柱の成層が発達し、常に、紫外線にさらされるため、植物プランクトンがその環境に順応するか、紫外線耐性の強い群集に遷移している可能性が示唆された。

希釈培養実験の結果の結果から、植物プランクトン増殖速度と微小動物プランクトン摂餌速度を表 1 にまとめた。

表 1 希釈法実験によって選ばれた植物プランクトン増殖率と微小動物プランクトン摂餌量に対する紫外線の影響。数値は成長率 (d^{-1}) OY: 親潮域, AK: 厚岸湾

Date	May 98	Jul 98	Aug 98	Oct 97	Avg	
Location	OY	OY	OY	OY	AK	AK
Phytoplankton growth						
UV+	0.07	0.57	0.54	0.77	0.44	0.48
UV-	0.09	0.52	0.65	0.74	0.72	0.70
Percent increase by UV cut	29	-9	20	-4	64	46
Microzooplankton grazing						
UV+	0.09	0.54	0.14	0.84	0.45	0.28
UV-	0.06	0.68	0.22	0.96	0.74	0.35
Percent increase by UV cut	-33	26	57	14	64	25

植物プランクトンの増殖速度は、ほぼ ^{13}C 取り込み実験と同様の傾向を示したが、秋季における増殖の低下は明白ではなかった。この増殖は PAR との相関が強く (5 月以外)、ほぼ培養時の光強度に依存していたと考えられる。常識的には紫外線照射量の大きい時に紫外線が増殖に及ぼす影響は大きくなると予想したが、紫外線除去による植物の増殖促進効果と UVB 照射量の関係を見ると、相関ははっきりせず、どちらかといえば負の相関であった。前述したように、植物プランクトンの季節的順応または遷移があると考えられる。全ての平均では紫外線の除去により植物の増殖速度は 29% 増加した。夏季のみを集計すると 18%、その他の時期では 43% となり、やはり夏季に紫外線効果の減少が認められた (表 1)。微小

動物プランクトンの摂餌は、ほぼ植物プランクトンの増殖と同調して増減した。紫外線除去の効果は平均で 30%であり、植物プランクトンの増殖に対する効果と同程度であった。夏季の平均が 40%、その他の時期が 13%で表面的には植物プランクトンの増殖に対する効果と逆転するが、値が小さく誤差が大きい 5 月のデータを抜かすと 42%となり、明瞭な季節的な紫外線感受性の変化は観察されず、紫外線強度による差も明確でなかった。

紫外線の効果は平均値としては一次生産者とその捕食者に対して同等であるが(表 1)、若干、動物に対しての効果が大きいと考えられること、個々のケースでは、紫外線の効果在一次生産者と捕食者に対して異なること、紫外線感受性の季節変化が両者で異なることなどから、植物が増えるとか動物が増えるといった方向性は一定ではないが、明らかに海洋表層の低次栄養段階の生物の構成に影響を及ぼしている。これら紫外線効果の空間的・時間的不均一性は、植物や動物の分類群によって紫外線感受性が異なるためだと考えられる。

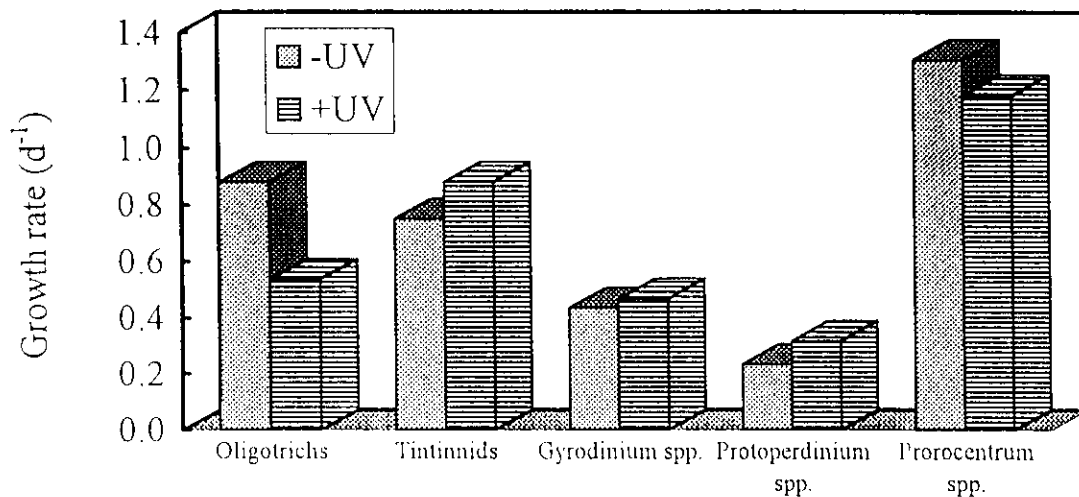


図 1 微小動物プランクトン 5 分類群の増殖速度に与える紫外線の影響

そこで、希釈法実験時に固定した動物プランクトンの増殖速度を各分類群ごとに求めると、動物プランクトンの増殖速度に与える紫外線の影響は分類群によって違いが見られた(図1)。原生動物の少毛類繊毛虫(oligotrichs)は紫外線の照射によって増殖速度が約 4 割低下した。一方、渦鞭毛虫の *Gyrodinium* spp.や *Protoperidinium* spp.は紫外線照射の明瞭な影響は見られなかった。少毛類繊毛虫は海洋で優占する動物プランクトンであるため、紫外線照射の影響を受けやすいという今回の実験結果は注目し得る。示した結果は10月における結果であるが、他の季節においても少毛類繊毛虫は常に顕著な影響を受けた。希釈法実験は、クロロフィルの量的な変化から摂餌速度、増殖速度が計算されるが、各動物群ごとの増殖速度の見積もりは、紫外線の影響が、分類群で研ぎに異なること、および、植物生産の主な消費者であるとともに再生産食物網の主要な構成者である

繊毛虫類が、特に紫外線に対して敏感であることは、予想される紫外線の増加が海洋の物質循環に大きな影響を与えることを示唆する。

4. 暖水域における植物プランクトンと動物プランクトンの相互関係に及ぼす紫外線の影響

4- (1). カイアシ類の異なる発生段階の生残に及ぼす UVB の影響

動物プランクトン個体群は異なる発生段階より構成される。若いステージで個体数は最も多く、かつ遊泳力も微弱であるが、発生が進むにつれて個体数は次第に減少し、遊泳力が増して有害な UVB から逃避することが可能である。動物プランクトン個体群の維持を考えた場合、生活史の中で最も脆弱なステージにおける UVB の影響を明らかにしておく必要がある。これまで卵のステージが最も脆弱であろうと考えられてきたが、動物プランクトンの各発生段階毎の耐性が調査されたことはない。そこで、動物プランクトンの発生段階の違いによる UVB 耐性の違いを明らかにする目的で、汽水性カイアシ類 *Sinocalanus tenellus* の生残に及ぼす影響を調査した。

4- (1) -- ① 研究方法

島根県中海で採集したカイアシ類 *S. tenellus* を、広島大学生物生産学部の実験室内で、培養した植物プランクトン (*Isochrysis galbana*, *Thalassiosira weissflogii*, *Prorocentrum minimum*) を与えて飼育培養した。この保存培養から異なる発育段階 (卵、ノープリウス: NI/II, NIII, NIV/NV, NVI, コペポダイト: CI, CII, CIII/CIV, CV、成体雌) の数 10 個体を分離し、濾過試水の入った石英ビン中に収容し、異なる強度の UVB (光源: 東芝健康線ランプ、20SE、カットニングシートを使用して UVC を除去) を 12 時間照射した。その後 12 時間暗黒条件下におき、各個体の生残と死亡を確認した。その時の水温は 20°C であった。

4- (1) -- ② 結果と考察

卵、ノープリウス前期の個体は、低 UVB ドース下で死亡したが、発生段階の進行により次第に耐性が高くなり、相対的に高いドース下でも生残する個体が多くなった (図 2)。LD50 (50%の個体が死亡する UVB ドース) は卵で最低で (4.1 kJ m⁻²)、発生に伴い次第に高くなり CI で 9.1 kJ m⁻²、成体雌で最高 (16.7 kJ m⁻²) であった。以上のことから、これまで動物プランクトンの生活史の中で卵が UVB に対して最も脆弱であろうと考えられてきたが、今回の実験でそのことが確かめられた。

本種は、本邦での代表的な汽水性カイアシ類で、島根県の宍道湖、中海では非常に多く出現する¹⁰⁾。また蓮池のように浅い場所にも普通に出現する。太陽光に含まれる UVB の日

間のドースは最大で 70 kJ m^{-2} にもなることから、本種の天然個体群の維持に UVB は重大な影響を及ぼしていることが推定される。

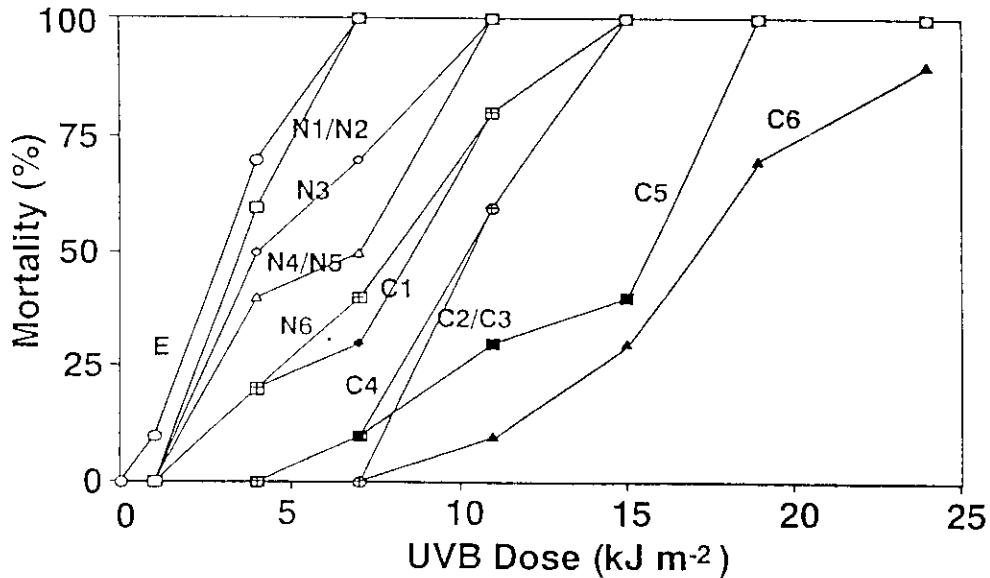


図2 汽水性カイアシ類 *Sinocalanus tenellus* の发育ステージの生残に及ぼす UVB の影響

4 - (2). 各種カイアシ類の卵の孵化に及ぼす UVB の影響

前述の実験により、海洋のネット動物プランクトンとして最優占するカイアシ類は卵のステージが最も紫外線に対して脆弱であることが明らかになったので、本実験では暖水域に生息する 8 種類のカイアシ類の孵化を調査し、各種の生態的特性と紫外線に対する耐性（あるいは脆弱性）を相互に比較することを目的とした。

4 - (2) - ① 研究方法

瀬戸内海、あるいは島根県の中海で採集した 8 種類のカイアシ類 (*Acartia omorii*, *A. sinjiensis*, *Calanus sinicus*, *Centropages tenuiremis*, *Paracalanus* sp., *Pontellopsis tenuicauda*, *P. yamadae*, *Sinocalanus tenellus*) の卵を、広島大学生物生産学部附属練習船「豊潮丸」の船上で、あるいは東広島市の広島大学生物生産学部の実験室内で産卵させ、産卵後 6 時間以内の受精卵を実験に使用した。これらの卵 (>20 卵) は濾過海水の入った石英試験管中に收容し、異なる強度の UVB を 12 時間照射した。その後 12 時間暗黒条件下におき、各 UVB ドース下での卵の孵化率を測定した。実験水温は種類により $18-25^{\circ}\text{C}$ の範囲で異なっていた。

4 - (2) - ② 結果と考察

いずれのカイアシ類においても、孵化率は UVB ドースの増加に伴い低下した (図3)。ドースと孵化率の関係から、LD50 の値が 5 kJ m^{-2} 以下の比較的脆弱なグループ (*Acartia omorii*, *A. sinjiensis*, *Calanus sinicus*, *Centropages tenuiremis*, *Paracalanus sp.*, *Sinocalanus tenellus*) と、LD50 が 20 kJ m^{-2} 以上の高い UVB 耐性を有するグループ (*Pontellopsis tenuicauda*, *P. yamadae*) の2つに分けられた。後者に属する2種は共に極表層性 (ニューストーン) のカイアシ類であり、昼夜を問わず海洋の極表層に分布している。それらの成体と卵はカロチノイド色素に由来する青あるいは濃緑色を呈している。一方、前者の多くは水柱内に広く分布し、中には日周鉛直移動を行い、夜間は表層付近に昼間は底層付近にそれぞれ分布して、太陽光から逃れる行動をとる種類もある。またそれらの成体や卵は比較的透明である。

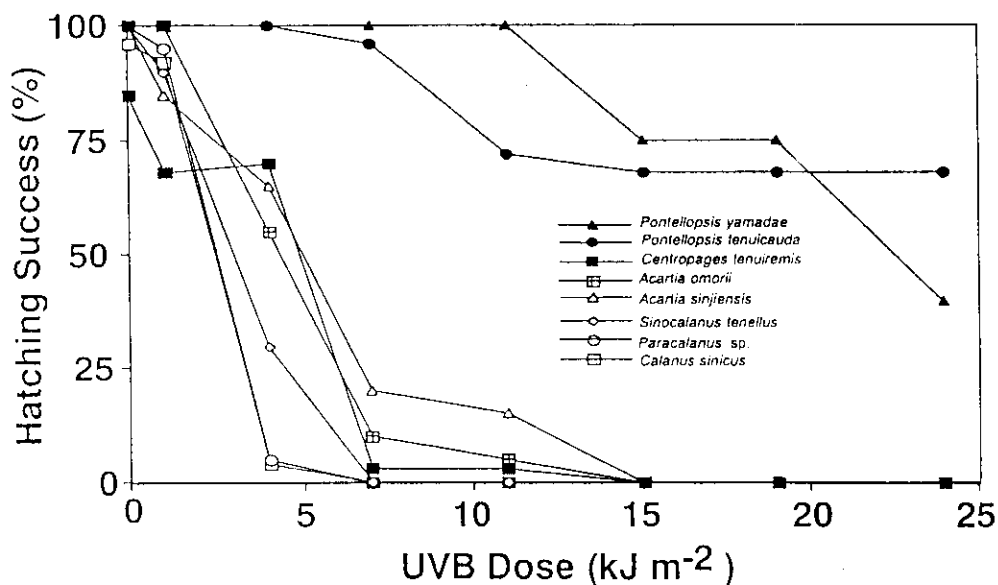


図3 8種類のカイアシ類の卵の孵化に及ぼす UVB の影響

以上のように、カイアシ類の卵の孵化に対する UVB の影響は、鉛直分布パターンの異なるカイアシ類間で大きな違いがあることが明らかとなった。極表層性のカイアシ類には UVB 吸収物質であるマイコスポリン様アミノ酸の含量が高いことがこれまでの研究で明らかになっているので¹¹⁾、これらの吸収物質の存在、さらにはカロチノイド色素による活性酸素の沈静作用が、極表層性カイアシ類の UVB に対する耐性を高めていると考えられる。一方、水柱に分布するカイアシ類は、卵が表層付近にトラップされた場合とか浅い水底上に産出された場合には、UVB による再生産の阻害を受けることが予測される。

4 - (3). カイアシ類の摂餌速度と産卵速度に及ぼす UVB の影響

紫外線の有害作用により動物プランクトンは最終的には死亡するまでのダメージを受けるが、死亡に至る前に紫外線照射による生理的なダメージを受けるはずである。そこで浅い汽水湖や汽水池にも生息するカイアシ類の *Sinocalanus tenellus* が、紫外線の照射から逃れることができない状況を想定して、本種の成体雌の生理活性速度に与える紫外線の影響を明らかにするために、摂餌と産卵速度に及ぼす紫外線の影響を調査した。

4 - (3) - ① 研究方法

S. tenellus 成体雌を、夜明け前に濾過 (WhatmanGF/C) 試水を満たした石英ビン (約 0.8 l) に 15 個体ずつ収容し、異なる UVB 強度で 12 時間照射した。この間カイアシ類は飢餓状態においた。その後、培養した珪藻類の *Thalassiosira weissflogii* を 9.8×10^3 cells ml⁻¹ の濃度になるように添加し、1 時間摂食させた。実験水温は 20°C であった。カイアシ類 4 個体ずつを分離し、濾過試水で体の外部に付着した植物プランクトンを洗浄し、直ちにジメチルホルムアミド中に収容した。消化管内に含まれる植物プランクトン由来の色素を零下 20°C の温度で 24 時間かけて抽出し、その濃度を蛍光法で測定した。

S. tenellus 成体雌を、培養した珪藻 *Thalassiosira weissflogii* を懸濁させた試水 (細胞濃度: 約 10^4 cells ml⁻¹) の入った石英ビン中に収容し、十分摂餌させながら異なる UV-B 強度で 12 時間照射した。その後、餌を十分与えながら 3 日間 (光周期は 12L-12D、ただし紫外線は全く与えない) 飼育し、毎日産卵数を計測した。

4 - (3) - ② 結果と考察

成体雌の生残における LD50 が 16.7 kJ m^{-2} であったので、それより低いドースで実験を行った。その結果、1.0、4.0、7.0 kJ m^{-2} での消化管内色素量は、対照実験での値とほぼ同様であったが、11.0 kJ m^{-2} での消化管内色素量は低下し (図 4)、その平均値は他の条件下の平均値より有意に低かった。

一方、産卵速度は 7.0、11.0 kJ m^{-2} のドースで、他の条件下での産卵速度に比較すると有意に低く (図 5)、紫外線による明瞭な悪影響を受けていた。

以上のことから、カイアシ類は死亡に至る前に、紫外線照射により再生産や摂餌速度などの生理活性速度に悪影響を受けることが明らかとなった。成体は一般に遊泳能力が高いので紫外線から逃避し、海洋ではこのようなケースは通常は考えられないが、底の浅い湖や池に生息するカイアシ類では、十分起りうることと思われる。

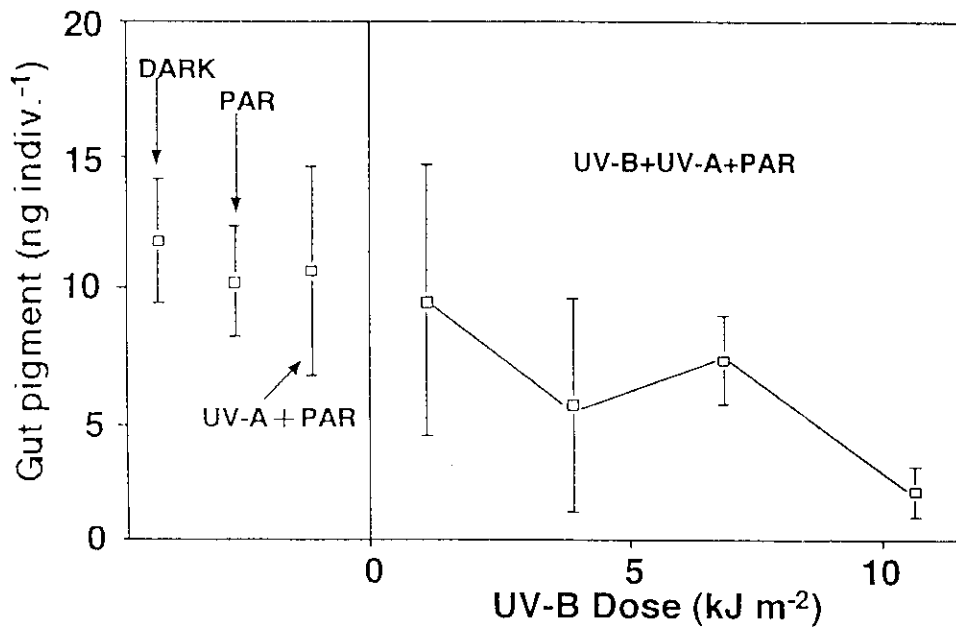


図4 汽水性カイアシ類 *Sinocalanus tenellus* の成体雌の摂餌に及ぼす UVB の影響

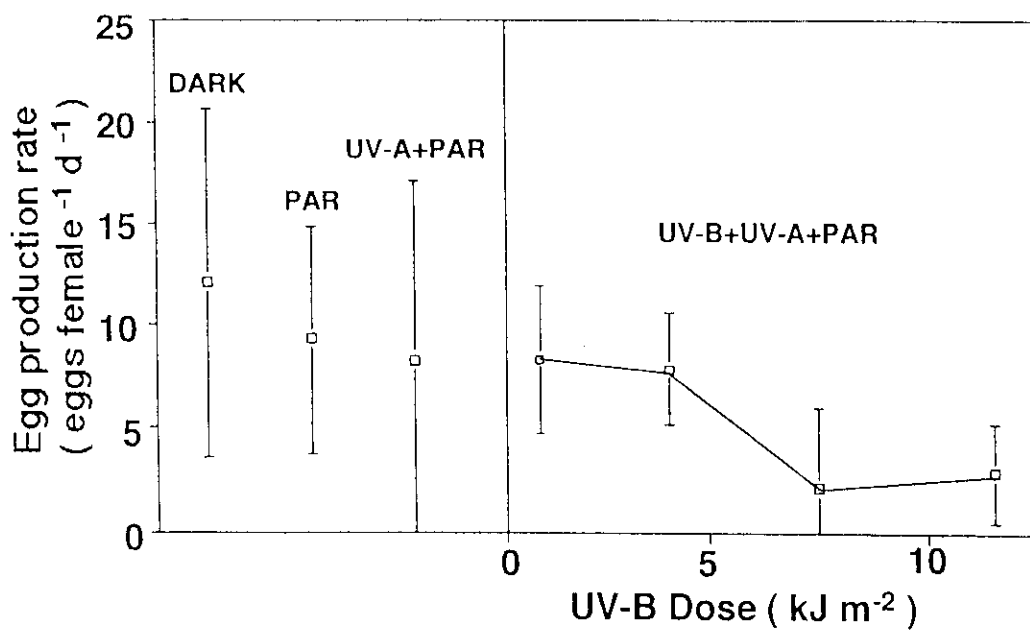


図5 汽水性カイアシ類 *Sinocalanus tenellus* の成体雌の産卵速度に及ぼす UVB の影響

4 - (4). 有鐘絨毛虫類の増殖に及ぼす UVB の影響

微小動物プランクトンは、カイアシ類などのネット動物プランクトンより小型の、平均体

長約 200 μm 以下の主として繊毛虫類などの原生動物により構成されるグループである。一般に単位体重当りの生理活性速度は、大型動物より小型動物の方が高いことが知られており^{1,2)}、両者の現存量が同一の場合には、ネット動物プランクトンよりも微小動物プランクトンの方が、生物生産や物質循環過程において遥かに重要な役割を果たしている^{1,3)}。本実験では微小動物プランクトンの主要分類群である有鐘繊毛虫類を対象として、本種の増殖速度に及ぼす紫外線の影響を実験した。

4 - (4) - ① 研究方法

使用した有鐘繊毛虫類の 1 種 *Favella taraikaensis* は、広島湾から採集して予め実験室内で保存培養しておいたものである。容量 400 ml の石英ビンに、培養した 2 種類の植物プランクトン (*Prorocentrum minimum*, *Heterocapsa triquetra*, 細胞濃度: $>1 \times 10^3 \text{ cells ml}^{-1}$) を懸濁させた餌海水 200 ml を入れ、その中に *F. taraikaensis* を 10 あるいは 100 個体接種した。各 UVB ドースにおいて 3 本のビンを用意し、コントロールとしてルミラーで覆ったビンを用意した。これらのビンはグロスクャビネット中に、紫外線ランプからの距離を変えて置いた。培養中の温度は 20°C に設定し、12L-12D の光周期を与えた。また培養ビンは 3-8 時間間隔で緩やかに攪拌し、培養期間中飼育水の交換は行わなかった。ただし植物プランクトンの濃度が増大した時には既知量の濾過海水を添加した。培養の一部を定期的にピペットで取り上げ、その中の個体数を計数することにより *F. taraikaensis* の密度を推定した。培養期間中の増殖曲線から、各ドース下における比増殖速度を計算した。

4 - (4) - ② 結果と考察

低い UVB ドースでは *F. taraikaensis* の密度 (元の水量に換算してある) は指数関数的に上昇したが、ドースが増大するにつれて比増殖速度は次第に低下した (図 6)。0.86 kJ m^{-2} では 5 日目までは増殖したが、その後 9 日目までに死滅してしまった。また 1.1 kJ m^{-2} 以上では全く増殖できず、1.5 kJ m^{-2} では 5 日目までに完全に死滅した。

比増殖速度と UVB ドースとの関係は図 7 のようにプロットされ、比増殖速度は約 1 kJ m^{-2} 付近で急激に低下した。直接的な比較はできないものの、この値は上述のカイアシ類の卵の LD50 の値より相当低いものであり、*F. taraikaensis* はこれまで調査してきた海洋動物プランクトンの中では UVB に対して最も脆弱ではないかと推定された。

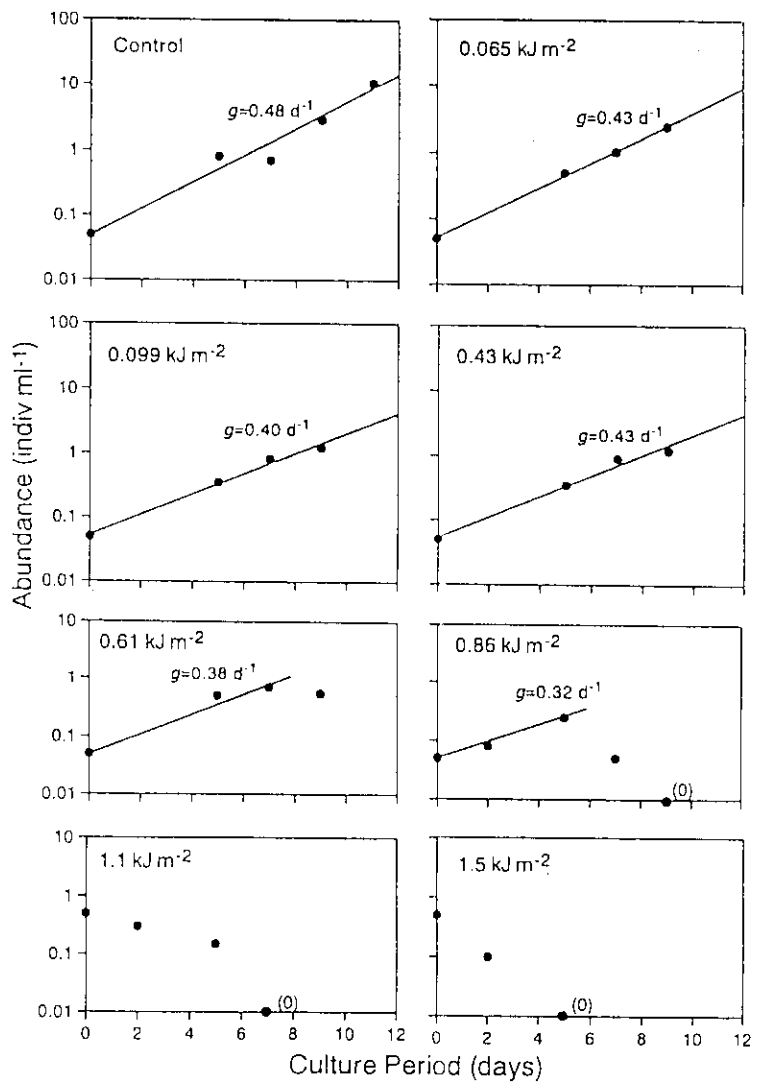


図6 有鐘織毛虫類 *Favella taraikaensis* の増殖に及ぼす UVB の影響

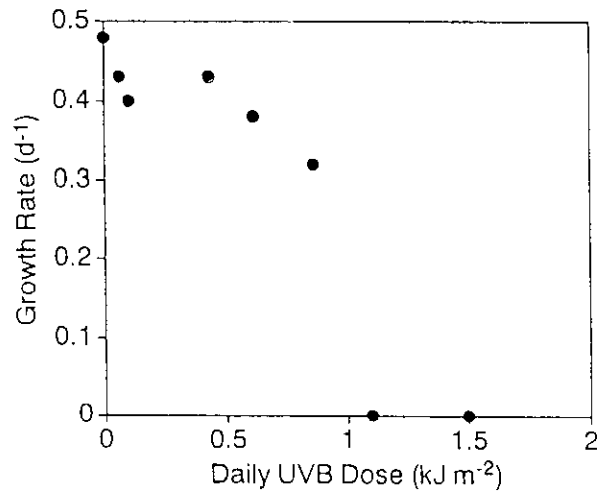


図7 有鐘織毛虫類 *Favella taraikaensis* の比増殖速度と UVB ドースとの関係

有鐘繊毛虫を代表とする原生動物は微小動物プランクトンの主要なグループを形成しており、それらは主としてナノ植物プランクトンを餌としている。天然海域では微小動物プランクトン群集のナノ植物プランクトンに対する摂餌の圧力は高いことが知られている。今回餌として使用した2種類の植物プランクトンは、*F. taraikaensis*の増殖が阻害される1.1、1.5 kJ m⁻²のドース下でも増殖した。このことは*F. taraikaensis*よりも植物プランクトンの方がUVBに対する耐性が高いことを示している。このようなUVBドース条件下では植物プランクトンに対する摂食圧が低下して、植物プランクトンの現存量が増大することが考えられる。

5. 本研究から得られた成果

太陽光による天然光レベルの照射でもUVBは、海洋の植物プランクトン、動物プランクトンに、摂餌率の低下、増殖速度の低下、死亡といった影響を受け、その程度は陸上生物より顕著であることが、冷水域における現場実験および暖水性動物プランクトンを用いた研究室での実験双方で示された。これは水というバリアーによって紫外線から守られてきた水生生物の大きな特徴であろう。しかし、紫外線に対する強弱は生物の分類群、生息環境、発生段階で大きく異なり、極表層性の生物は他のものより紫外線に対して耐性が強く、発生段階においては最も初期の卵が最も弱く、一般的に植物より動物が弱く、動物の中では体サイズの小さな繊毛虫などの微小動物プランクトンが最も弱いことが明らかになった。特に、微小動物プランクトンの中でも、繊毛虫が紫外線に対して弱いことが、両水域で示唆された。これらの関係を概念図として示すと図8になる。

はじめに述べたように海洋の低次生物生産の特徴は、高い一次生産と高い消費がバランスしていることである。紫外線の増加は、植物・動物の生産とともに負の影響を与えるが、

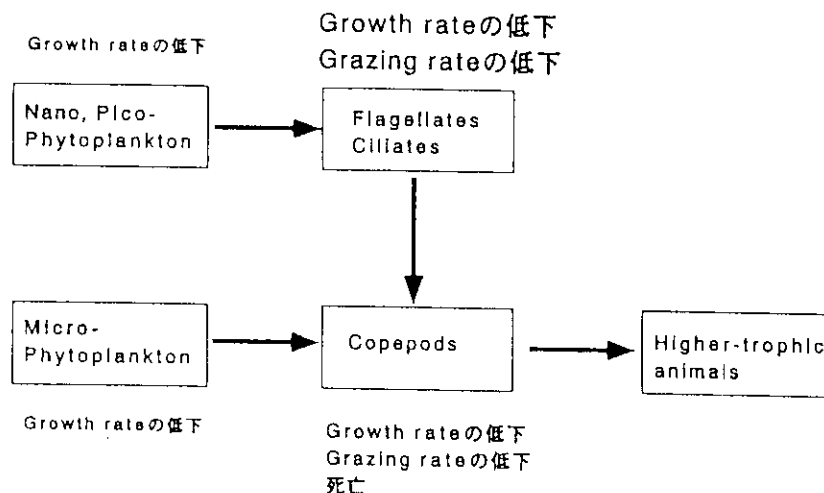


図8 海洋の低次生産過程の生物群の捕食関係（矢印）と紫外線の効果。文字の大きさは相対的な効果の大きさを表す。

動物の方が感受性が高いため、相互作用としては、植物の生産が上回り、植物余りの状態が短期的にはには予想されよう。しかし、高い植物の生産は、もともと動物の摂餌排泄による、栄養塩の供給によって支えられていたものであるため、次第に、植物の生産も低下すること（再生産食物網のスピンダウン）が中期的には予想される。さらに、長期的には、生物の種および分類群で紫外線に対する耐性が異なるため、より紫外線に対する耐性の高い生物群への遷移が起こるのであろう。

我々は、本研究において、基本的には短期間の、動・植物プランクトンの相互作用に与える影響に焦点をあて、実験的な手法で評価を与えてきた。これらの結果を、より具体的、海域普遍的なものとして評価したり、中期的な影響を評価するためには、栄養動態モデルのような数値解析モデルを發展させる必要がある。また、中期から長期に与える影響は中規模閉鎖系実験などより大掛かりな実験系を考える必要がある。さらに、生物群、季節による紫外線に対する耐性の差異などは、紫外線吸収物質、損傷物質の修復過程を生化学的な手法で明らかにすることにより、定量的な評価を与えることが今後の課題となる。

6. 引用文献

- 1) Smith, R. C., K. S. Baker, O. Holm-Hansen and R. Olson, 1980. Photoinhibition of photosynthesis in natural waters. *Photochem. Photobiol.*, 31: 585-592.
- 2) Jokiel, P. L. and R. H. York, 1984. Importance of ultraviolet radiation in photoinhibition of microalgal growth. *Limnol. Oceanogr.*, 29: 192-199.
- 3) Holm-Hansen, O., E. W. Helbling and D. Lubin, 1993. Ultraviolet radiation in Antarctica: Inhibition of primary production. *Photochem. Photobiol.*, 58: 567-570.
- 4) Karanas, J. J., H. V. Dyke and R. C. Worrest, 1979. Midultraviolet (UV-B) sensitivity of *Acartia clausii* Giesbrecht (Copepoda). *Limnol. Oceanogr.*, 24: 1104-1116.
- 5) Karanas, J. J., R. C. Worrest and H. V. Dyke, 1981. Impact of UV-B radiation on the fecundity of the copepod *Acartia clausii*. *Mar. Biol.*, 65:125-133.
- 6) Damkaer, D. M., D. B. Dey, G. A. Heron and E. F. Prentice, 1980. Effects of UV-B radiation on near-surface zooplankton of Puget Sound. *Oecologia* 44:149-158.
- 7) Dey, D. B., D. M. Damkaer and G. A. Heron, 1988. UV-B dose/dose rate responses of seasonally abundant copepods of Puget Sound. *Oecologia*, 76:321-329.
- 8) Kellet, A. A., P. Hargraves, H. Jeon, G. Klein-MacPhee, E. Klos, C. Oviatt and J. Zhang, 1997. Effects of ultraviolet-B enhancement on marine trophic levels in a stratified coastal system. *Mar. Biol.*, 130: 277-287.

- 9) Naganuma, T., T. Inoue and S. Uye, 1997. Photoreactivation of UV-induced damage to embryos of a planktonic copepod. *J. Plankton Res.*, 19: 783-787.
- 10) 上 真一, 1998. 汽水域における動物プランクトンの特徴, 沿岸海洋研究, 35: 49-55.
- 11) Uye, S., H. Saito and S. Taguchi, 1997. Effects of enhanced ultraviolet ray on marine plankton. *Photochem. Photobiol.*, 19: 19.
- 12) Klekowski, R. Z., 1981. Size dependence of metabolism in protozoans. *Verh. Internat. Verein. Limnol.*, 21: 1498-1502.
- 13) 谷口 旭, 1989. 微小動物プランクトンの存在, 西澤 敏 編, 生物海洋学, pp. 28-48, 厚生社厚生閣, 東京

[国際共同研究等の状況]

特になし

[研究成果の発表]

(1) 口頭発表

- ① Lacuna, D. G. and S. Uye 日本海洋学会春季大会 (1998) Effect of UV-B radiation on the survival, feeding and egg production of a brackish-water copepod, *Sinocalanus tenellus*.
- ② 齊藤宏明・田口 哲 日本海洋学会春季大会 (1997) 紫外線が動物プランクトン *Paracalanus* sp. の孵化率に与える影響.
- ③ 上 真一・D. G. Lacuna 第 20 回日本光医学・光生物学会 (1998) 汽水性動物プランクトンの生残、摂餌、産卵に及ぼす紫外線 (UV-B) の影響
- ④ 上真一・齊藤宏明・田口哲 第 19 回日本光医学・光生物学会シンポジウム「太陽光の生物への影響」(1997). 海洋プランクトンに対する紫外線の影響.

(2) 論文発表

- ① Goes, J. I., Handa, N., Taguchi, S., Hama, T. and Saito, H. Metabolism of neutral monosaccharide constituents of storage and structural carbohydrates in natural assemblages of marine phytoplankton exposed to ultraviolet radiation. *Limnol. Oceanogr.*, 41: 1478-1489. (1996)
- ② 長沼 毅・井上輝之・上 真一 浮遊性カイアシ類の初期発生における紫外線の影響. 日本海洋バイオテクノロジー学会誌, 2 : 87-90. (1996)
- ③ Naganuma, T., T. Inoue and S. Uye Photoreactivation of UV-induced damage to embryos of a planktonic copepod. *J. Plankton Res.*, 19: 783-787. (1997)

- ④Tsuda, A. and S. Kawaguchi. Microzooplankton grazing in the surface water of Antarctic Ocean during an austral summer. *Polar Biol.*, 18: 240-245. (1997)
- ⑤Uye, S., H. Saito and S. Taguchi Effects of enhanced ultraviolet ray on marine plankton. *Phytomedicine and Photobiology*, 19: 19. (1997)
- ⑥Uye, S. and D. G. Leuna (in press) Effects of UV-B radiation on the survival, feeding and egg production of the brackish-water zooplankton. *Phytomedicine and Photobiology* 20:

(3) 受賞等

齊藤宏明：日本海洋学会岡田賞「親潮域における低次生産特性とカイアシ類日周摂食リズムに関する研究」1998年4月.