

## 別紙 4

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

## 主 論 文 の 要 旨

論文題目 西部北太平洋亜熱帯域の植物プランクトン現存量および沈降粒子フラックスへの気候変動の影響 (Impact of the climate change on phytoplankton biomass and settling particle flux in the western North Pacific subtropical region)

氏 名 石田 洋

## 論 文 内 容 の 要 旨

西部北太平洋亜熱帯域の表層は、高水温で成層が発達しているために温帯や亜寒帯域と比べて貧栄養で、生物現存量や生産性が低く「海の砂漠」といわれてきた。この海域では地球温暖化により、さらに表層が高温化することで成層がより強化され、海洋下層からの栄養塩類の供給量がより低下している可能性がある。また、栄養要求の高い植物プランクトン（例えば珪藻類）の現存量の減少、さらにそれに起因する沈降粒子フラックスの低下や組成の変化などが起きていると考えられる。一方で亜熱帯域では、台風の通過といった短期的なイベントによる擾乱で、貧栄養な海洋表層に下層から栄養塩が供給され、生産性が促進されることが知られている。地球温暖化などの気候変動により、台風の強度が増す可能性も指摘されており、これによって生物生産がさらに増加する可能性もある。すなわち、西部北太平洋の亜熱帯域の生物活動は、気候変動による長期的な変動傾向と、短期的な大気－海洋間の相互作用による影響を同時に受けていることになる。本研究では、地球温暖化の現状把握と将来予測のために、実海域で取得されたデータに基づき、西部北太平洋の亜熱帯域の植物プランクトンおよび沈降粒子に対する約 30 年スケールの長期変動と、台風通過による短期的な変動を評価することを目的とした。

まず、夏季の西部北太平洋亜熱帯域における植物プランクトンの長期的な変動傾向を評価するために、1972 年から 25 年間にわたる気象庁の東経 137 度線と、1991 年から 10 年間の東経 175 度線のクロロフィル a データを解析した。東経 137 度線と東経 175 度線の、全水柱に対する深度 75 m 以浅のクロロフィル a の存在割合（以下、表層のクロロフィル a の割合）お

よびクロロフィル a 極大深度を求めたところ、東経 137 度線では、1972 年から 1997 年にかけて表層のクロロフィル a の割合が年間 0.4 % の割合で減少し、クロロフィル a 極大深度は年間 0.4 m 深くなっていた。東経 175 度線では、3  $\mu\text{m}$  以上のサイズに分画されるクロロフィル a を測定しており、全クロロフィル a に対するその存在割合（以下、3  $\mu\text{m}$  以上のクロロフィル a 分画の割合）は年間 0.3 % の割合で減少していた。3  $\mu\text{m}$  以上のクロロフィル a 分画の割合と表層のクロロフィル a の割合の間には強い関係が認められ、この関係を東経 137 度線に当てはめたところ、東経 137 度線の 3  $\mu\text{m}$  以上のクロロフィル a 分画の割合は、年間 0.1 % の割合で減少していると推定された。これらのことから、東経 137 度の亜熱帯海域では、1972 年からの約 25 年間で、植物プランクトンの分布深度が深まり、大型の種類が減少しつつあることが示唆された。一方、同海域における、1997 年から 2005 年までの沈降粒子フラックス観測で、秋季における沈降粒子中の有機炭素量が年間平均 0.088  $\text{mg m}^{-2} \text{day}^{-1}$ 、オパール／炭酸カルシウム比が年間 0.018 それぞれ低下している傾向が認められた。同海域では 1972 年から 1997 年の夏季に、海水の密度 ( $\sigma_\theta$ ) が深度 75 m において年間 0.006 低下しており、深度 200 m においては変化傾向がなかったことから、この海域の夏季においては、少なくとも上記の間、地球温暖化などの気候変動により、成層が強化されていることが考えられた。以上から、西部北太平洋亜熱帯域では、1972 年からの約 30 年間、夏季から秋季において、成層の強化により海洋深部からの栄養塩類の供給量が減少し、大型の植物プランクトンが減少し、海洋表層の生産性が低下していること、そして、下層への物質輸送量の低下や質の変化が生じていることが示唆された。

一方、近年の研究から、地球温暖化で台風が強化され、海洋の混合が増加することによって生産性を向上させることが指摘されている。そこで、次に台風による植物プランクトンの応答を評価するため、西部北太平洋亜熱帯域の定点（北緯 22.5 度、東経 131.8 度）において、2003 年から 2006 年の各年のほぼ同時期に海洋表層の植物プランクトンの群集構造を調査した。4 年間の内、2004 年、2005 年および 2006 年は、調査前 10 日間以内に調査地点から 500 km 以内を台風が通過した。人工衛星による観測から、調査地点付近では 2006 年に台風が通過した後、海表面のクロロフィル a 濃度が 0.003  $\text{mg m}^{-3}$  から 0.004  $\text{mg m}^{-3}$  に増加し、表面水温は約 1.6  $^{\circ}\text{C}$  低下していた。この時の植物プランクトン現存量は、台風の影響がない 2003 年と比較すると、0 - 200 m の水柱で珪藻類 (*Planktoniella sol*) は 10 倍、シアノバクテリアと従属栄養性バクテリアはそれぞれ約 2 倍高かった。また、0 - 200 m の水柱の硝酸・亜硝酸態窒素の積算量は、2003 年の 70  $\text{mmol m}^{-2}$  に対し、2006 年は 160  $\text{mmol m}^{-2}$  と高かった。しかし、台風通過後に調査を実施した 2004 年と 2005 年では、2006 年と同様の植物プランクトン現存量や硝酸・亜硝酸態窒素量の上昇は認められなかった。2006 年の台風は 2004 年、2005 年の台風と比較するとその移動速度が遅く、海洋が攪乱されている時間が長かった。そのため、2006 年は下層から表層へ栄養塩類の供給が多くなり、珪藻類が増加した可能性がある。次に、沈降粒子フラックスに対する台風の影響を解析した。沈降粒子フラックスは、植物プランクトン調査地

点の深度約 3,900 m に、2002 年 12 月から 2005 年 7 月まで、沈降粒子の捕捉期間を 1 ヶ月としたセジメントトラップ実験から得た。台風は、実験期間中、調査地点から 500 km 以内を合計 20 個通過しており、2004 年は 11 個通過した。中でも移動速度が遅く、強い台風 2 個が 10 月に連続して調査地点近くを通過し、これらが通過した後の 12 月から翌年 2 月に、沈降粒子のオパール／炭酸カルシウム比の期間偏差がプラスとなった。この状況は 2003 年 10 月と 11 月に調査地点の直近を通過した台風においても認められた。このことから、台風が通過することにより海洋表層で増加した珪藻類が、沈降粒子の組成に影響を及ぼした可能性が示唆された。一方で、この 12 月から翌年 2 月における沈降粒子フラックスには、植物プランクトンの冬季における季節的なブルームの影響も含まれていると考えられた。台風によって増加した海洋表層の珪藻類の一部はいずれ沈降すると思われるが、沈降する過程で時空間的に拡散してしまい、それらの変動を明確に捕らえることは困難であったと考えられた。

以上のように、西部北太平洋亜熱帯域では、ここ数十年の地球温暖化傾向に起因する海洋表層の成層化の進行によって、特に夏季から秋季において海洋下層から表層への栄養塩類の供給量が低下し、珪藻類などの大型の植物プランクトンが減少している可能性が示唆された。また、その影響は沈降粒子フラックスにも及んでおり、長期的には生物ポンプによる炭素固定能が低下している可能性が示唆された。一方、同海域では、台風による擾乱で海洋下層から表層に一時的に栄養塩類が供給されることで、珪藻類や従属栄養性バクテリアが増殖し、沈降粒子フラックスにも影響を及ぼしている可能性が示され、台風による短期的な大気－海洋間の相互作用による生産性の上昇効果が認められた。つまり、西部北太平洋亜熱帯域の生産性は、短期的な大気－海洋間の相互作用で一時的に上昇する効果があるが、1970 年代から 2000 年初頭までの約 30 年間においては、地球温暖化などの気候変動による成層の強化により低下している傾向にあると考えられた。