

(第6号様式)

## 学位論文審査の結果の要旨

氏名	HU Yingying
審査委員	主査 郭 新宇 副査 森本 昭彦 副査 日向 博文

論文名 Nutrient transport in the Kuroshio area: an analysis of model results

### 審査結果の要旨

黒潮流域における栄養塩の水平輸送は Nutrient Stream として注目され、近年いくつかの研究結果が発表されている。しかしながら、これらの研究が求めた栄養塩輸送量は全水深に対応するものであり、海域の基礎生産を考える際に直接に参考できない。それゆえ、海洋の基礎生産が行われる光の届く水深(有光層)へ供給される栄養塩の量を知る必要がある。

本論文は黒潮流域の有光層に注目し、数値生態系モデルの結果を用いて、黒潮と黒潮続流域の有光層(海面から 102 m 深まで)における栄養塩の水平輸送量と鉛直輸送量を計算した。黒潮源流域であるルソン海峡周辺では、黒潮の流下方向の栄養塩輸送量の増加が見られ、これは有光層底部における湧昇に伴う鉛直的な栄養塩供給により増加していることが分かった。東シナ海の黒潮においては、黒潮流下方向の栄養塩輸送量に顕著な変化は見られないが、有光層底部において黒潮内側域での湧昇流に伴う鉛直的な栄養塩供給と外側域の沈降流による栄養塩の流出が明確に見られた。日本南岸の黒潮においては、黒潮流下方向の栄養塩輸送量が顕著に増加していた。その理由の一つは、沿岸域から黒潮域への栄養塩の水平輸送である。黒潮続流域では、北側の混合水域からの水平的な栄養塩供給と、南側の亜熱帯海域への栄養塩の水平的な流出が見られ、鉛直的には有光層底部に湧昇域と沈降域がペアになっており、下層の栄養塩濃度が高いため正味の栄養塩輸送は正となっていることが分かった。

上記の解析結果に関してそのメカニズムの検討を行った。ルソン海峡周辺域における湧昇流は等密度面の傾きに依存していた。偏西風と貿易風で構成される亜熱帯域の風系は負の渦度を海洋に供給するため、亜熱帯循環の等密度面は内部領域で下降し、東西岸境界に向けて上昇するため等密度面が傾く。成層海洋では海流が等密度面に沿って流れるため、等密度面が傾くとある水深では湧昇流と沈降流が見られることになる。東シナ海の黒潮流域に見られる内側域の湧昇流と外側域の沈降流は、黒潮縁辺部の正負の渦度と海底境界層での収束発散により生じることが示された。日本南岸の沿岸域から黒潮本流域への栄養塩の輸送は、沿岸域の湧昇流により鉛直的に輸送された栄養塩が移流によって水平的に運ばれることで起こっていた。黒潮続流域における湧昇流と沈降流のペアの存在は、黒潮の蛇行とポテンシャル渦度の保存則より定性的に説明できた。

次に、台湾東部の栄養塩濃度の季節変化と経年変化に注目し、季節・経年変化の成因とその変

化が基礎生産量へ与える影響を調べた。台湾東部における海面から水深 100m までの栄養塩濃度は沿岸側では夏に高く冬に低くなるが、沖合では逆の季節変化を示していた。この季節変化に伴い、台湾東部から東シナ海の陸棚斜面までの植物プランクトンの濃度は黒潮の内側に沿って夏に大きくなることを見出した。このような栄養塩濃度の季節変化は黒潮の流速ではなく黒潮流速の鉛直シア、つまり傾圧構造に関連していた。一方、経年変化については中規模渦が重要な役割を果たしていた。高気圧性の中規模渦が台湾東部の黒潮に接近すると、黒潮が岸側に寄り、流速と流速の鉛直シアが増加する。その結果、沿岸側の海面から水深 100m までの栄養塩濃度が増加し、植物プランクトンの濃度は黒潮の内側に沿って台湾東部から東シナ海の陸棚斜面において増加する。反対に、低気圧性の中規模渦が台湾東部の黒潮に接近すると、黒潮が弱まり流速と流速の鉛直シアが小さくなった結果、栄養塩と植物プランクトンの高濃度域がなくなる。このように物理過程（黒潮の傾圧構造と中規模渦）が台湾東部とその下流域の栄養塩濃度と基礎生産に大きな影響を与えることを明らかにした。

さらに、四国沖における黒潮の再循環流が黒潮流下方向の栄養塩輸送に対する役割の再評価を行った。先行研究では、四国沖における黒潮の再循環流が黒潮本流域に加入することより黒潮流下方向の栄養塩輸送を増大させることが報告されていた。本研究で再評価したところ、再循環流による黒潮流下方向の栄養塩輸送量の増加が先行研究の報告値の 1 割しかないことが分かった。これは、黒潮により東向きに輸送された栄養塩の半分程度が伊豆海嶺付近で再循環流により南に流出するためである。

本論文の一部はすでに国際誌に掲載され、残りの内容は投稿中の論文 1 編を含め 2 編の論文として出版する予定である。

本論文の公聴会は令和元年 6 月 24 日に総合研究棟 I 261 号室において行われ、論文の発表と質疑が行われた。続いて、学位論文審査会を開き、本論文の内容を厳正に審議した結果、審査委員が全員一致で、博士(理学)の学位を授与するのに相応しいものと判定した。