

Colijn, F. and G. C. Cadée (2003)

Is phytoplankton growth in the Wadden Sea light or nitrogen limited?

J. Sea Res. **49**: 83-93.

ワッデン海における植物プランクトンの増殖は光制限か窒素制限か?

北海に接するオランダのワッデン海では植物プランクトンの増殖が栄養塩と光によって強く制限されている。リービッヒの最小律の概念から、これらは植物プランクトンの増殖における制限要因であると考えられてきた。弱光と低栄養塩濃度の条件下では、植物プランクトンの増殖や栄養塩の摂取が減少する。これまで栄養塩の変動と植物プランクトンの増殖の制限に関する研究は多く行われてきたが、光による植物プランクトンの増殖の制限に関する研究は少ない。本研究では、植物プランクトンの増殖率及びバイオマスに対する制限要因を調査することを目的として、過去にワッデン海で実施された研究データと Cloem (1999) の植物プランクトンの増殖制限モデルを用いて検討した。

ワッデン海で過去に実施された調査研究のデータを用いて、各点の平均クロロフィル *a* 濃度、1 次生産量、放射照度及び栄養塩濃度のデータを抽出し比較、検討を行った。ワッデン海の最も西部のマーズディップでは De jong et al. (1999), Ladwig et al. (in press) から 1984-1996 年の平均クロロフィル *a* 濃度と 1960-2000 年の 1 次生産データを得て、Cadée and Hegeman の未発表データからそれぞれ 4 m 層の濁度と 1995-1996 年の栄養塩濃度を得た。この濁度は透明度板を用いて測定した。エムス川河口付近の外側の海域エムスと内側の海域ドラードでは Colijn (1982) と Van Beusekom et al. (2001) から 5 m 層と 2 m 層の濁度と 1994 年、1995 年の栄養塩濃度のデータを得た。濁度は粒子状物質濃度 (SPM) で示された値を用いた。ノルダーナイ島では De jong et al. (1999), Ladwig et al. (in press) から 1985-1996 年の平均クロロフィル *a* 濃度を得て、Hanslik et al. (1998) からそれぞれ 5 m 層の濁度と 1990 年の栄養塩濃度を得た。こちらも濁度は SPM で示された値を使用した。ビューズムでは Tillmann et al. (2000) から 1991-2001 年の平均クロロフィル *a* 濃度データを得て、De jong et al. (1999) と Ladwig et al. (in press) からそれぞれ 3 m の濁度と 1995-1996 年の栄養塩濃度データを得た。濁度は透明度板により測定した値を使用した。水中における平均放射照度 *I* は Colijn (1982) の $I = \frac{I_0 (1 - e^{-K_d z})}{K_d z}$ を用い、1 日当たりの放射照度 I_0 、光の減衰係数 K_d と水深 z を代入し求めた。 I_0 は 1994-1995 年に計測されたワッデン海の全天放射量の平均値を用い、 K_d は透明度板を用いた濁度と SPM の値を用いて得た値をそれぞれ Tillmann et al. (2000) と Colijn (1982) の方法に基づいて減衰係数に変換して求めた。植物プランクトンの増殖における栄養塩と光による制限効果は、Cloem (1999) の植物プランクトンの増殖制限モデルを用いて検証した。このモデルは光と栄養塩による制限を受ける植物プランクトンの増殖率を R で表している。また光と窒素の半飽和定数に関しては Cloem (1999) で記載されている $K_N=1.5$, $K_P=2.4$ の値を用い、光資源 P と窒素資源 N は次式 $N^* = N/K_N$ と $P^* = P/K_P$ から得られる。

平均クロロフィル *a* 濃度は、マーズディップの 1986 年 5 月、ノルダーナイ島の 1987 年、1994 年の 2 点を除くとマーズディップ、ノルダーナイ島とビューズムで $20-35 \mu\text{g L}^{-1}$, $20-45 \mu\text{g L}^{-1}$, $10-30 \mu\text{g L}^{-1}$ で推移した。ブルームの規模やその後のクロロフィル *a* 濃度の急激な減少の原因は、継続的な栄養塩による制限やメソ動物プランクトンの捕食圧によるものと考えられる (Fransz et al., 1992)。また一次生産量はバイオマスとは対照的に夏に最も高い値をとり、1990 年代初めから減少傾向がみられた (Fig.2)。植物プランクトンの増殖に対しての栄養塩と光の制限の効果の検証 (Fig.3-Fig.7) においては R の値から植物プランクトンの制限要因が明らかとなった。 $R < 0.1$ の時、植物プランクトンは強く栄養塩制限を受けている。 $R=1$ の場合、増殖率は光と栄養塩の制限を同等に受けており、 $R > 10$ では増殖率は強く光に制限されたことを意味する。 $0.1 < R < 10$ の場合は、光と栄養塩の両方の制限を受けているといえる。マーズディップではほとんどの点で窒素資源が $N^* > 6.3$ であったことから、夏を除く大部分の期間で植物プランクトンの増殖は制限されていた。ドラードでは光のみが増殖を制限していた。一方でエムスでは 8-9 月に窒素による制限がみられた。ノルダーナイ島では 6 月と 8 月に窒素制限が明らかであったが、7 か月間は窒素制限はなかった。ビューズムでは 5 月と 7-8 月の間、わずかに窒素による制限がみられた。

平均クロロフィル *a* 濃度は、マーズディップの 1986 年 5 月、ノルダーナイ島の 1987 年、1994 年の 2 点を除くとマーズディップ、ノルダーナイ島とビューズムで $20-35 \mu\text{g L}^{-1}$, $20-45 \mu\text{g L}^{-1}$, $10-30 \mu\text{g L}^{-1}$ で推移した。ブルームの規模やその後のクロロフィル *a* 濃度の急激な減少の原因は、継続的な栄養塩による制限やメソ動物プランクトンの捕食圧によるものと考えられる (Fransz et al., 1992)。また一次生産量はバイオマスとは対照的に夏に最も高い値をとり、1990 年代初めから減少傾向がみられた (Fig.2)。植物プランクトンの増殖に対しての栄養塩と光の制限の効果の検証 (Fig.3-Fig.7) においては R の値から植物プランクトンの制限要因が明らかとなった。 $R < 0.1$ の時、植物プランクトンは強く栄養塩制限を受けている。 $R=1$ の場合、増殖率は光と栄養塩の制限を同等に受けており、 $R > 10$ では増殖率は強く光に制限されたことを意味する。 $0.1 < R < 10$ の場合は、光と栄養塩の両方の制限を受けているといえる。マーズディップではほとんどの点で窒素資源が $N^* > 6.3$ であったことから、夏を除く大部分の期間で植物プランクトンの増殖は制限されていた。ドラードでは光のみが増殖を制限していた。一方でエムスでは 8-9 月に窒素による制限がみられた。ノルダーナイ島では 6 月と 8 月に窒素制限が明らかであったが、7 か月間は窒素制限はなかった。ビューズムでは 5 月と 7-8 月の間、わずかに窒素による制限がみられた。

以上より、ワッデン海のように水柱が懸濁物で濁りやすい浅い沿岸域では、植物プランクトンの増殖において光による制限が重要な役割を果たしていることが示唆された。少なくとも浅い沿岸水域の実験では、植物プランクトンの増殖における光制限が、窒素制限よりも重要である可能性があることから、今後は植物プランクトンの増殖に対する栄養塩と光放射量による効果の解析を行うと同時にリン酸塩やケイ酸塩の栄養塩制限と光による制限も調査する必要がある。