

学位論文題名

Effects of aging on the photosynthetic activity and life history strategy in temperate seagrasses

(温帯性海草類における光合成活性に及ぼす加齢の影響と生活史戦略)

学位論文内容の要旨

4種の温帯性海草(アマモ、オオアマモ、コアマモ、スガモ)の光合成活性に対する加齢の影響が、野外および飼育水槽において調べられた。さらに、これら4種の温帯性海草の生活史において、葉の回転率を速くするような生活史戦略が調べられた。最後にそのうち3種(アマモ、オオアマモ、スガモ)について、光合成活性に対する付着藻類の影響が調査された。新しく開発された水中(PAM)蛍光光度計がこれら海草の葉の光合成活性の測定に用いられた。

EQY(Y)として測定された現場での光合成活性は、葉齢によっても、種によっても有意に変化した。アマモ、オオアマモ、コアマモ、スガモの若い葉は高いEQYをもち、そのことは、低いEQYの古い葉よりも、より若い葉で光合成がより活発に行われていることを示している。コアマモが最も高い光合成活性をもつものに対して、オオアマモは活性が最も低い。この結果は、厚岸湾で豊富にみられるオオアマモやスガモと、厚岸湖で豊富なアマモとコアマモの間で光合成特性が異なっていることを示唆している。

同様にETRとして測定された光合成活性も個々の葉の葉軸に沿って、または一本の株の葉の間で有意に変化した。葉の若い部分と一本の株の若い葉はクロロフィル色素の含量は少ないが、 ETR_{max} や E_k は高かった。

それに比べて、葉の古い部分や一本の株の古い葉は、多くのクロロフィル色素を持つが、 ETR_{max} や E_k はより低かった。これに加えて、NPQの減衰は葉の若い部分や株の若い葉において大きく、それは、光耐性が古い部分や古い葉に比べて低いことを示している。従って、若い部分や株の若い葉はrapid light curve測定後の暗黒条件における光合成能力回復の時間は古い部分や古い葉に比べてより短い。

研究した4種の花草のうち、コアマモは ETR_{max} が最も高く、オオアマモは最も低かった。コアマモ、アマモ、スガモの E_k がより大きかったことは、これらの種がオオアマモとは違ってよりよい光条件の下で生育していることを示している。

一方、付着藻類の定着に対して葉の回転率を高くする生活史戦略が、これら温帯性海草類について研究された。成長速度、回転率、葉の生産速度、葉の寿命が、アマモ、オオアマモ、スガモの3種の実生について測定された。生産性を測定することによって、付着藻類の密度を推定し、調査期間では減少する傾向にあることが明らかになった。

水温・塩分・光などの環境要因や生物要因と付着藻類の量との相関をみると、物理的な環境要因とはあまり関係がみられなかった。一方、葉の回転率とは負の相関が見られた。アマモ、オオアマモ、コアマモでは、その葉の回転率の速さが付着藻類の少なさと結びついていることが明らかになったが、スガモの場合ははっきりした付着藻類の減少は見られなかった。その原因は、スガモの葉の成長速度が低いこと、回転率も低いことによるので

あろう。同様な傾向は水槽内の実生においても現場での測定においてもみられた。つまり、この性質は各々の海草種にとって遺伝的であり、実生からの個体の成長・生活史における対付着生物として適応的な性質と考えられる。

最後に、アマモ、オオアマモ、スガモの光合成活性におよぼす付着藻類の影響が調べられた。海草の葉の付着藻類の構成要素は、珪藻と石灰紅藻類であった。付着藻膜は葉の古い部分や株の中の古い葉でより厚くなった。付着藻類は海草の光合成活性を減少させた。その傾向は付着藻類の最も多い葉で顕著であった。しかしながら、その効果は部分的で有意ではなかった。この結果は、付着藻類による被陰効果が、あまり付着藻類のついていない部分の補償作用によって相殺されることを示している。

The effects of aging on the photosynthetic activity of the four temperate seagrass species found in Akkeshi Bay and adjacent Akkeshi-ko estuary, namely *Zostera marina*, *Zostera asiatica*, *Zostera japonica* and *Phyllospadix iwatensis*, were determined both *in situ* and culture tanks. Accordingly, the fast leaf turnover strategy was investigated in the life history of these temperate seagrasses (*Z. marina*, *Z. asiatica*, *Z. japonica* and *P. iwatensis*), and finally the effect of epiphytes on the photosynthetic activity of the three seagrass species (*Z. marina*, *Z. asiatica* & *P. iwatensis*) was determined. The newly developed pulse amplitude modulated (Diving-PAM) fluorometer was used to measure the photosynthetic activity of the seagrass leaves.

The photosynthetic *in situ* activity measured as effective quantum yield or Y varied significantly with leaf age and among species. Younger leaves of *Z. marina*, *Z. asiatica*, *Z. japonica* and *P. iwatensis* had higher effective quantum yield, indicating that it is more photosynthetically active than the older leaves which had lower quantum yield. *Z. japonica* had the highest photosynthetic activity while *Z. asiatica* had the lowest activity. The result suggests that the species of seagrasses found in Akkeshi Bay (*Z. asiatica* & *P. iwatensis*) and adjacent Akkeshi-ko estuary (*Z. marina* & *Z. japonica*) had different photosynthetic characteristics.

Similarly, the photosynthetic activity measured as electron transport rate along the leaf axis of individual leaves and among leaves in a shoot varied significantly. Young region of the leaves and young leaves in a shoot with low amount of chlorophyll pigments had higher maximum electron transport rate (ETR_{max}) and minimum saturating irradiance (E_k). In contrast, the old region of the leaves and old leaf in a shoot with high chlorophyll content had lower maximum electron transport rate and minimum saturating irradiance. In addition to this, the decline in NPQ was greater in the young region of the leaves and young leaf in a shoot suggesting that their photo-tolerance was low compared to the old region of the leaves and old leaf in a shoot in darkness. Consequently, the recovery period of the young region of the leaves and young leaf in a shoot after the rapid light curve measurement was shorter than the old region in the leaves and old leaf in a shoot. Among the seagrass species being studied, *Z. japonica* had the highest maximum electron transport rate while *Z. asiatica* had the lowest maximum electron transport rate. The higher minimum saturating irradiance in *Z. japonica*, *Z. marina* and *P. iwatensis* indicates that these species are high lighted while *Z. asiatica* is low lighted as indicated by its low minimum saturating irradiance.

On the other hand, the fast leaf turnover strategy against the colonization of epiphytes was investigated in the temperate seagrasses. Growth rate, turnover time, leaf production rate and leaf life span were determined in seedling species of *Z. marina*, *Z. asiatica*, *Z. japonica*

and *P. iwatensis*. With the productivity measurements, the epiphyte density was estimated and showed a decreasing trend with sampling period. The correlation analysis between abundance of epiphytes and environmental factors (water temperature, salinity and light) or biological factor represented by leaf turnover showed no correlation of epiphyte abundance with physical factors, but a significant negative correlation with leaf turnover in *Z. marina*, *Z. asiatica* and *Z. japonica*, while a significant positive correlation was found in *P. iwatensis*. It is suggested that the decline in epiphyte density in *Z. marina*, *Z. asiatica* and *Z. japonica* was attributed to their fast leaf turnover, while no apparent decline of the epiphytes was observed on the leaves of *P. iwatensis*, which was due to its low growth rate and leaf turnover rate. A similar pattern in the observed parameters was found when the results were compared between cultured seedlings and mature *in situ* seagrasses, indicating that fast leaf turnover strategy is inherent and adaptive characteristics against epiphytism in life histories of seagrasses.

Lastly, the effect of epiphytes on the photosynthetic activity of *Z. marina*, *Z. asiatica* and *P. iwatensis* was investigated. The epiphyte component on the seagrass leaves was composed primarily by diatoms and red calcareous algae. The epiphyte cover was higher in the oldest region of the leaves and the oldest leaf in a shoot. The epiphytes had reduced the photosynthetic activity of seagrasses, especially most in the oldest leaves where the highest epiphyte cover was found. However, the effect was marginal and not significant. This result indicates that there are some areas in the leaves which are not covered by epiphytes which could compensate for the shading effects of the epiphytes.

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 向 井 宏

副 査 教 授 本 村 泰 三

副 査 教 授 甲 山 隆 司 (地球環境科学研究科)

学位論文題名

Effects of aging on the photosynthetic activity and life history strategy in temperate seagrasses

(温帯性海草類における光合成活性に及ぼす加齢の影響と生活史戦略)

本論文は、近年発展してきた測定機器である Diving PAM を用いて、水中現場および栽培条件における海草四種の葉の光合成活性を測定し、さらには種子から発芽させて成長する過程の変化を詳細に測定した研究である。

その中で、葉が出現し成熟し老成する過程で、光合成活性が変化していることを、葉の部位による活性の違い、葉位による活性の違い、さらには主シュートと分けつした副シュートとの活性のかわきを明瞭に示し、加齢による光合成活性の変化を明らかにした。

また、光合成活性の変化に対するもう一つの重要な要因として、付着藻類との光を巡る競争を考察し、付着藻類による光合成活性への影響を定量的に評価することに成功し、種によっては明らかな強光阻害が起こることを発見した。

さらに、付着藻類による影響がクロロフィル含有量の変化を導くように、海草が積極的な物質の移動を行うことにより光合成活性の変化へ対応していることが、主シュートと副シュートの間の光合成活性を比較することにより、示唆される結果を得ている。

さらに、付着藻類に対抗する戦略として、葉の成長を早くし、寿命を短くして、高い回転率を獲得することを考察した。その結果、アマモ、コアマモ、オオアマモの3種においてこのような生活史戦略が付着藻類対策として有効であることを見いだした。

以上の結果から、海草の葉の光合成活性の変化には、加齢による生理的な変化だけでなく、付着藻類との光を巡る競争において不利な条件を、アマモ属の3種については、葉の回転率の向上や物質の再配置をととした生活史戦略をとっていること、スガモについては、物理的要因によってそのような生活史戦略が取れないことで、弱光適応によって対応していることなどを明らかにしたもので、海草の光合成活性が年齢と関係して変化することを示すだけでなく、海草と付着藻類との光を巡る競争において生活史戦略や弱光適応の役割を定量的に明らかにしたという点で、当該分野の発展に寄与するもので、理学博士の学位を授与するに十分値するものである。