

## 論文審査の結果の要旨

氏名 岡島有規

本論文は4章からなる。第1章はイントロダクションであり、個葉に適用されるエネルギー収支モデル、生化学的・熱力学的な根拠に基づく光合成モデル、植物の気孔の環境応答に関する知見が、第2章では経験的な気孔モデルのパラメータに対する妥当性の評価が、第3章ではエネルギー収支式から推定される最適な葉のサイズが、第4章では本研究の成果が包括的に考察され、研究成果の応用面への展開の可能性が述べられている。

第2章では、経験的な気孔コンダクタンスモデルでパラメータとして広く用いられる光合成  $\text{CO}_2$  同化速度の、パラメータとしての妥当性を評価した。これまで、光合成  $\text{CO}_2$  同化速度と気孔コンダクタンスが同調的に変動する現象は知られていたが、具体的なメカニズムは明らかになっておらず、光合成  $\text{CO}_2$  同化速度が気孔開口を促すか否かについては研究者によって意見が分かれる所であった。この問題を解決するために、 $\text{O}_2$  濃度を自由に変えることで、気孔の開閉に影響を与える光強度や葉内  $\text{CO}_2$  濃度を一定に保ったまま、光合成  $\text{CO}_2$  同化速度だけを変え、気孔コンダクタンスを測定するシステムを構築した。タバコを用いた解析により、 $\text{O}_2$  濃度の上昇に伴う光合成  $\text{CO}_2$  同化速度の減少は見られたが、同調的な気孔コンダクタンスの低下は確認されなかった。この結果から、光合成  $\text{CO}_2$  同化速度が直接的に気孔開閉を制御しているのではないことが明らかになった。また、光合成電子伝達速度と気孔コンダクタンスの間に正の相関が見られた。気孔モデル内でパラメータとして用いられている光合成  $\text{CO}_2$  同化速度を光合成電子伝達速度に置き換えた際は、どちらでも高い精度で気孔コンダクタンスのふるまいを表現できた。これらの結果から、光合成電子伝達速度が、気孔コンダクタンスモデルの新たなパラメータとなり得る可能性が示唆された。

第3章では、個葉のエネルギー収支モデルを解き、異なる光条件・温度条件において、光合成  $\text{CO}_2$  同化速度と水利用率を評価関数として最適な葉のサイズを求めた。先行研究では、暗くて暖かな環境では葉が大きくなるほど水利用率効率が良くなり、その他の環境では葉は小さくなるほど水利用率効率が良くなるという結論が導かれていた。しかし、現実には気温が低くなるほど大きな葉が見られるという観察結果が数多く報告されている。そこで、個葉エネルギー収支モデルを解く際に、光合成の光・温度依存性を考慮して、「冷涼な環境で大きな葉が小さな葉に比べて不利にならない」ことの理論的な裏付けを行うことをめざした。そのために、個葉エネルギー収支モデル、気孔モデル、光合成モデルを連立させて定量的に解いた。その際、境界層が層流か乱流か、対流の形式が強制対流か自由対流か、にも留意したことで、先行研究に比べて大幅に現実的なモデルとなった。大気と葉との間の摩擦力が大きいため境界層が厚くなる大きな葉では、境界層が薄い小さな葉に比べて、熱や物質交換が起こりづらい。そのため、光合成の基質である  $\text{CO}_2$  が、大きな葉の表面では小さな葉に比べて減少する。同時に、熱がこもることで葉温が気温よりも高温に達する。葉

の光合成最適気温よりも気温が十分に低い冷涼な環境において、光照射時の葉温上昇が光合成  $\text{CO}_2$  同化速度の増加にどの程度寄与するかを定量的に求めた。その結果、大きな葉と小さな葉で、光合成  $\text{CO}_2$  同化速度はほぼ同程度になると予測され、葉の大小による差は確認されなかった。この結果は、葉表面  $\text{CO}_2$  濃度の減少による光合成  $\text{CO}_2$  固定速度の低下が、葉温が光合成最適温度に近づくことで十分に補償され得ることを意味する。また、水利用効率については、冷涼な環境ではむしろ大きな葉の方が有利となることが示された。冷涼な環境では大きな葉と小さな葉のどちらも存在し、温暖な環境では小さな葉しかできない、という観察結果が、エネルギー収支の観点からも妥当であることが明らかになった。

このような研究を遂行するためには数理的能力と実験生物学の素養がともに必要とされる。論文提出者がこの難題に挑み画期的な成果を上げた点は、大きな成果である。

なお、本論文の第 2 章は寺島一郎と、第 3 章は寺島一郎、野口航と種子田春彦との共同研究であるが、論文提出者が主体となって研究計画を行い、実施したものであり、そのほとんどが論文提出者の寄与によるものであると判断される。

したがって、博士（理学）の学位を授与すると認める。