(学位第３号様式)

学 位 論 文 要 旨

氏　名	アハムド・ムバラク・カミス・アルーサイディ
題　目	光合成速度を支配する微気象要因のキャノピースケール変動に関する観察的研究 (Observational Studies of Canopy-Scale Variation in the Microclimatic Drivers of Photosynthesis)

人間によって放出された CO_2 ガスが寄与している温暖化をはじめ，現代の気候変動への不安は高まっている．植物は光合成により，人為的に排出された CO_2 を還元することで炭素循環における重要な役割を担っている．植物の生産性を高める上で，キャノピースケールの光合成に関与する微気象条件に対する影響について精密な計測データが求められている．従って，本実験は，(1) 植物群落内において各々の微気象を計測する垂直分布型測定装置の開発，(2) 群落内において高度別，また経時的（1 日中）な微気象変化を計測すること，(3) 計測値から植物の光合成，生産および気候変動に対する評価を目的とする．

群落における光合成条件を経時的および高度別に計測する為に，垂直分布型測定装置を開発した．この装置によって，各群落層の 5 ヶ所および樹冠で 1 点の計測が可能となった．この装置を用いた方式により既存の方式に比べ，より多くの微気象要因の計測が可能になった．また，CO_2 濃度および H_2O 濃度は，1～2 分間で 6 点を循環的に計測することで，計測が迅速化し，経時変化する結果を得られるようになった．

群落の微気象計測は，4 つのサトウキビ圃場，3 つのソルガム圃場，1 つの雑木林および 2 つのマングローブ林の異なる生態系で 2006～2008 年にかけてそれぞれ 24 時間周期で行われた．主に以下の結果が得られた．

(1) 群落の内と外の大気において，それぞれ異なった特徴を示した．(2) 群落内において光合成に影響を与える微気象条件は垂直分布に有意差が認められ，生態系によって垂直分布の特徴に変化が見られた．雑木林に比べマングローブ林の群落層における CO_2 濃度は低く，経時的な変化量は小さい．一方，マングローブ林における H_2O 濃度は高く，他の生態系と比較して垂直分布におけるその変化量は小さかった．雑木林では，ほとんど垂直分布における温度変化は見られなかったが，マングローブ林や他の農作物群落における層では中間の群落層内の温度が最大となった．(3) 群落層内の微気象変化は日中，有意に変化しておりその変化量は生態系によって異なる．言うまでもなく，光強度や風速は全ての生態系における群落層内で経時的に異なり，また曇りを含む気象条件の影響を受けていた．マングローブ林における海水の浸水は雑木林とは異なる微気象要因をもたらした．マングローブ林における満潮時の浸水は群落層での低温および，特に夜間の満潮時における高 CO_2，高 H_2O 濃度と関係が見られた．

本実験の結果から，実験室内における個葉や植物個体の光合成測定結果から植物生産性を導く際，今回得られた各植物群落における層間の微気象を考慮すべきである．総じて，本実験の結果により，諸々のキャノピースケールにおける微気象要因の変化を計測することは植物と群落の微気象，さらには気候変動との関係をより理解する上で重要だと考えられる．

（学位第３号様式）

学 位 論 文 要 旨	
氏　名	Ahmed Mubarak Khamis Al-Saidi
題　目	Observational Studies of Canopy-Scale Variation in the Microclimatic Drivers of Photosynthesis （光合成速度を支配する微気象要因のキャノピースケール変動に関する観察的研究）

There is increasing concern about the role of humans in modern climate change which is attributed in part to the anthropogenic production of CO_2. Plant photosynthesis is an important process in potentially reducing the anthropogenic carbon contribution. In order to be able to improve plant productivity, observational data are needed about how microclimatic drivers of photosynthesis vary at the canopy scale. Therefore, this study addresses three research objectives, which are: (1) To construct a gradient system apparatus for measuring microclimatic variables in plant canopies; (2) To quantify the vertical and temporal (diurnal) variations in microclimate within the plant canopies; and (3) To assess the implications of the measured data for plant productivity and for aspects of climate change.

A system apparatus was developed for the purpose of measuring the temporal and vertical variation in photosynthetic drivers in plant canopies. The system enabled microclimatic measurements to be made at five heights within, and one height above, each canopy of interest. The system offers several significant improvements over existing systems, including: a wider range of microclimatic variables can be measured; the speed of CO_2 and H_2O concentration measurements is more rapid, leading to six-height cycle measurements being made in just 1-2 minutes, therefore providing high-resolution data.

Microclimatic measurements were made at sugarcane sites, sorghum sites, terrestrial forest site, and mangrove forest sites, in Okinawa, Japan. The main findings include the following: (1) There were differences between the characteristics of within-canopy air and the characteristics of the above-canopy atmosphere. (2) There were vertical gradients in the microclimate within plant canopies, and differences in the patterns of vertical variation between ecosystems. CO_2 levels were lower, and also less variable, in the mangrove forest canopies than in the terrestrial forest. H_2O concentration in the mangrove canopies were greater, but the vertical gradients less variable, than those of other ecosystems. Temperature gradients in the agricultural and mangrove stands exhibited maxima in the mid-canopy level, but the terrestrial forest had very little vertical temperature variation. (3) There were diurnal fluctuations in microclimate within plant canopies, and differences in the amount of fluctuation between ecosystems. Light intensity and wind speed, as expected, varied in all canopies according to time of day and weather conditions. Tidal inundation provides a control on microclimatic variation in mangroves not experienced by terrestrial forest. High tide in the mangrove forest was associated with lower air temperature in the canopy, greater CO_2 concentrations (particularly during nocturnal high tide), and greater H_2O concentrations.

Regarding the third objective, the findings of the study have implications for understanding the environmental factors bearing on plant productivity/photosynthesis, and for addressing climate change issues. The canopy microclimatic data for all the species studied should be taken into consideration when attempting to link plant productivity with laboratory-based assessments of the photosynthetic response of individual leaves and plants. Overall, the findings of the study indicate the importance of quantifying micro-environmental variables at the canopy scale in order to improve our knowledge of the relationships between plants, canopy microclimate, and climate change.

（学位第９号様式）

No. 1

学位論文審査結果の要旨

<table>
<tr><td>学位申請者
氏　　名</td><td colspan="4">Ahmed Mubarak Khamis Al-Saidi</td></tr>
<tr><td rowspan="5">審査委員</td><td>主査</td><td>琉球大学</td><td>教授</td><td>馬場繁幸</td></tr>
<tr><td>副査</td><td>琉球大学</td><td>教授</td><td>川満芳信</td></tr>
<tr><td>副査</td><td>佐賀大学</td><td>教授</td><td>野瀬昭博</td></tr>
<tr><td>副査</td><td>鹿児島大学</td><td>教授</td><td>冨永茂人</td></tr>
<tr><td>副査</td><td>琉球大学</td><td>教授</td><td>屋　宏典</td></tr>
<tr><td>審査協力者</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>題　　目</td><td colspan="4">Observational Studies of Canopy-Scale Variation in the Microclimatic Drivers of Photosynthesis
（光合成速度を支配する微気象要因のキャノピースケール変動に関する観察的研究）</td></tr>
</table>

人間の様々な活動によって放出された CO_2 ガスが寄与している温暖化をはじめ，現代の気候変動への不安は高まっている．植物は光合成により，CO_2 を還元することで地球上の炭素循環において重要な役割を担っている．

農地での作物の生産性を高める上で，あるいは人工林や天然林でより効率的に樹木の生産性の向上を目指す施業管理を行う上で，光合成速度を支配する微気象要因のキャノピースケールの変動に関する精密な計測データが求められている．

本研究は（1）植物群落内において，効率的にしかも精密に微気象の変化を計測するための垂直分布型測定装置を開発すること，（2）開発した測定装置を用いて群落内の微気象の垂直変化を経時的すなわち終日計測し，日変動を正しく捉えること，（3）計測値から微気象の変化が植物生産に及ぼす影響を評価し，そこから予測される気候変動と植物生産の関係を推察することを目的として実施された．

群落内における光合成条件を経時的並びに高さ別に計測する為に，垂直分布型測定装置を開発した．この装置によって，群落の垂直方向5ヶ所と樹冠上部の6点の計測が短時間で可能となり，既存の装置に比較して，短時間により多くの微気

象要因の計測が可能になった．特に，光合成に関する環境因子の中で CO_2 濃度および H_2O 濃度は，1～2 分間で 6 点を循環的に計測することで，計測が迅速化し，経時的に変化する結果を得られるようになった．群落の微気象計測は，サトウキビ圃場で 4 箇所，ソルガム圃場で 3 箇所，アカギが優占する人工林で 1 箇所及びオヒルギが優占するマングローブ林で 2 箇所，計 10 箇所の異なる生態系で 2006～2008 年にかけてそれぞれ 24 時間周期で行われ，以下の結果が得られた．

(1) 群落内と群落外では，日変動は異なった特徴を示した．

(2) 群落内の光合成に影響を与える微気象要因は垂直方向で有意に異なっており，それは測定した生態系ごとに特徴的であった．すなわちアカギの人工林に比べマングローブ林の群落内における CO_2 濃度は低く，経時的な変化量も小さかった．一方，マングローブ林における H_2O 濃度は高く，他の生態系と比較して垂直分布におけるその変化量は小さかった．アカギ人工林では，垂直方向での温度変化はほとんど見られなかったが，マングローブ林や他の群落では，群落中間層の温度が最大となる傾向を示した．

(3) 群落内の微気象の変化は日中，有意に変化しておりその変化量は生態系によって異なった．言うまでもなく，光強度や風速は全ての生態系における群落層内で経時的に異なり，しかも気象条件の変化の影響を強く受けた．海水が侵入するマングローブ林では，潮汐の影響を受けないアカギ優占林とは異なる微気象要因の変化を示し，満潮時には群落内の低温化が誘導され，特に夜間の満潮時には高 CO_2，高 H_2O 濃度化をもたらした．

本実験の結果から，実験室内における個葉や植物個体の光合成測定結果を用いて植物生産性を導くにあたっては，植物群落内の着葉位置と，そこでの微気象の変化を考慮すべきであることが明らかにできた．このようにキャノピースケールでの微気象要因の変化を計測することは，その変動が植物生産性にどのように影響を及ぼすのかを知ることであり，気候変動が将来的に植物生産性にどのように影響を及ぼすかを推測する上で一つの重要な知見を与えるものと結論付けた．

以上のように本研究では，光合成に影響を及ぼす植物群落内外部での CO_2 濃度，温度，H_2O 濃度等の環境要因を効率的に連続して計測するシステムを開発し，それを用いて林地と農地で実測することにより，群落内での微気象の変化が植物の光合成に大きく影響を及ぼすことについて貴重な知見を得ていることから，審査委員会は本研究論文が学位論文として充分な内容であると判断した．

（学位第１０号様式）

No. 1

最終試験結果の要旨

学位申請者氏名	Ahmed Mubarak Khamis Al-Saidi			
審査委員	主査	琉球大学	教授	馬場繁幸
	副査	琉球大学	教授	川満芳信
	副査	佐賀大学	教授	野瀬昭博
	副査	鹿児島大学	教授	冨永茂人
	副査	琉球大学	教授	屋　宏典
審査協力者				
実施年月日	平成 21 年　1 月 19 日			

試験方法（該当のものを〇で囲むこと.）　　（口答）・筆答

主査および副査は，平成21年1月19日の公開審査会において学位申請者に対して，学位申請論文の内容について説明を求め，関連事項について試問を行った．具体的には別紙のような質疑応答がなされ，いずれも満足ができる回答を得ることができた．

以上の結果から，審査委員会は申請者が博士（農学）の学位を受けるに必要な十分の学力ならびに識見を有すると認めた．

学位申請者 氏　　名	Ahmed Mubarak Khamis Al-Saidi

【質問１】　大変良くできた測定システムを作り上げたことに感心した．しかしながら，測定に10秒間もかからない高性能で，大変良くできた測定システムを作り上げ，高価ではないと発表していたが，実際にシステムを組み立てるとすると，いくらぐらいになるのか．また高性能であっても，最終的に解析に用いたデータは30分間隔のものを用いておられたので，その理由と，もしシステムの性能を落とすと，どの程度安くなるのか．

【回答１】今回のシステムは，100万円以下で組み立てることが可能である．性能を落とすとノイズを拾うことになるので，高性能の測定機器を用いて，測定回数を増やすことによって測定誤差を取り除くことに注意を払ったことから，本研究では，コストパフォーマンスのことは特段考慮しなかった．しかしながら，実際に野外での測定を数多く実施するにあたっては，コストフォーマンスも考慮すべきことになると思う．性能を落とすと，安くなると思うが，実際にどの程度安くなるかは，最近は円高なので，実際に組み立ててみないと分からない．

当初は10秒間隔で測定した実測値と，30分間隔で測定した実測値に違いがあると考えたが，実際にはそれらの変化のパターンはほぼ同一であったことから，最終的な解析を行うには，10秒間隔ではなくて30分間隔のものを用いても十分であると判断した．

【質問２】今後のことになるが，更に研究を継続する時には，林内あるいは植物群落の微気象要因の垂直方向の測定と，樹冠あるいは群落の葉の張り方や枝の張り方などの群落の垂直構造の関係を，より詳細に解析することを期待したい．

【回答２】更に研究を発展されるためにも，そのことを心がけて，今後研究に励みたい．なお，マングローブ林については，所管している金武町に問い合わせをしたが，許可がもらえず大変残念ながら，伐採や枝を切っての垂直方向の構造解析を行うことができなかった．

【質問３】これまでの報告ではマングローブは根系を発達させるので，地上に近い部分の二酸化炭素の濃度が高い傾向にあったが，今回の研究ではその傾向があまり顕著ではないが，その理由はなにか．

【回答３】調査場所のマングローブ林では，2年間続けて沖縄島を襲った大型台風等の影響で急激に土砂（赤土）が堆積してしまい，オヒルギの膝根もそれらの土砂の堆積の影響を強く受け，調査時に必ずしも根系が十分に発達していなかったことが考えられる．そのことが従来報告されている結果に比較して，本研究では根系付近の二酸化炭素フラックスを小さくしたのかもしれない．

【質問４】二酸化炭素の濃度変化の測定から，光合成について言及しているが，実際に光合成を同時に測定しなかった理由はなにか．

【回答４】私が所属している琉球大学農学部の研究室では，これまで数年間にわたって木本樹種の光合成について測定を実施しており，その光合成の測定データを用いることが可能であることから，私の研究では，光合成の測定を行わず，むしろ光合成に関与する環境パラメータの測定を重視した．パラメータの変化が計測できると，その変化量に基づいて，これまでの光合成の測定データを容易に用いることが可能であった．

【質問５】マングローブ林での光量子量の測定で顕著であったが，日中，林内の下層で急激に光量子量が低下している。その理由が論文中では必ずしも十分に説明されていなかったので，低下理由を簡潔に説明して欲しい．

【回答５】今回の測定で，マングローブ林では，日中，林内で光量子量の低下が著しかったが，その理由は，太陽の移動に伴い，マングローブの葉によって光量子の林内への到達が遮られると，著しく光量子の到達が減少していた．換言すると，光量子を透過させないことがマングローブ葉の特徴と言うことになるのかもしれない．また通常の場合には散乱光として，光量子が到達しても不思議ではないが，散乱光での到達量も極めて少なかった．論文の本文中では，そのことの記述が十分ではなかったので，加筆することにしたい．

【質問６】英語としては大変よく書けており，訂正する部分はほとんどなかったが，何カ所かで，文が冗長で，意味が理解しにくいところがあった．文章ですべてを表現するのではなくて，これまでの論文や図や表を適切に引用すると，簡易で明瞭な表現となるのではないか．

【回答６】ご指摘頂いた箇所については，冗長な文章を書き直し，意図が簡潔に表現できるようにしたい．