

学 位 論 文 要 旨

氏 名	パルリンドウンガン タンブナン
題 目	沖縄産熱帯樹木のイソプレン放出に関する研究 (Study on the isoprene emission of tropical trees in Okinawa island)

植物から放出されるイソプレンガスは大気環境化学上重要な役割を果たしていることが明らかにされている。すなわち、イソプレンは反応性が極めて高く、大気中のヒドロキシラジカルとイソプレンが反応して局地的に生成されるオゾンは人の健康及び農産物の生産性に悪影響を及ぼすとされている。また、温暖化ガスであるメタン分解にヒドロキシラジカルが関与しているため、イソプレンによるヒドロキシラジカルの消費は間接的にメタン分解を抑制することになり、温暖化を促進する。さらに、イソプレン放出は光合成で固定した炭素の最大2%相当に達する場合もあり、生態系の炭素収支に影響する因子とも考えることができる。

熱帯雨林は大気圏へのイソプレンガスの主要な供給源とされている。同様に亜熱帯域に生育する熱帯樹木も重要なイソプレン供給源であることが推測されるが、亜熱帯域の樹木のイソプレン放出能を直接的に測定した研究は少ない。本研究は亜熱帯沖縄に自生或いは外来の熱帯樹木 42 種のイソプレン放出能を計測するとともに光、温度等の環境因子に対するイソプレン放出の応答特性を明らかにすることを目的とした。

計測した 42 種の中、4 種の放出速度は 20 $\mu\text{g/g/hr}$ 以上であり、28 種は 1-10 $\mu\text{g/g/hr}$ 、残りは 1 $\mu\text{g/g/hr}$ 以下であった。従って、本研究で計測した樹木類の大半は低放出群に分類されると判断された。しかしながら、沖縄在来のクワ科植物の放出速度は比較的高く、平均放出速度は 14.2 $\mu\text{g/g/hr}$ と見積もられた。とりわけハマイヌビワ (*Ficus virgata*) の放出速度 107.1 $\mu\text{g/g/hr}$ は葉面積換算では 47.4 $\text{nmol/m}^2/\text{s}$ に相当し、高放出群に分類されると判断された。さらに、ハマイヌビワからのイソプレン放出は光強度 1700 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ まで直線的に増加し、温帯植物において観察される 600 $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ 近傍での光飽和現象は観察されなかった。これらの結果は熱帯同様亜熱帯域の植物も大気圏への重要なイソプレン供給源となることを示唆した。

次いで、光、温度に次ぐ環境因子として、湿度のイソプレン放出速度への影響について検討した。高湿度環境下においては、光照射は急激なイソプレン放出速度の上昇を引き起こすが、低湿度条件下ではこのような現象は観察されなかった。さらに、定常状態のイソプレン放出速度も湿度依存的に増加した。これらの結果は光、温度のみならず湿度もイソプレン放出を規定する因子であることを示唆しており、今後の熱帯・亜熱帯植物のイソプレン放出予測式に取り入れる必要があることを指摘している。

これらの研究は、熱帯のみならず亜熱帯域の植物群とりわけクワ科植物は重要なイソプレン供給源であることを示すとともに、熱帯植物のイソプレン放出の環境特性が温帯植物とは異なる可能性を指摘しており、地球温暖化を含めた大気環境の変動予測に寄与する知見と考えられた。

学 位 論 文 要 旨

氏 名	Parlindungan Tambunan
題 目	Study on the isoprene emission of tropical trees in Okinawa island (沖縄産熱帯樹木のイソプレン放出に関する研究)

Isoprene emitted from terrestrial vegetation plays important roles in tropospheric chemistry: (1) isoprene readily reacts with hydroxyl radicals (OH) and nitrogen oxides to produce tropospheric ozone which is toxic to human and reduces the agricultural productivity, (2) isoprene increases the atmospheric lifetime of greenhouse gas methane by competing for OH radicals, the principal atmospheric oxidizing compounds of methane, (3) isoprene emission can represent a significant carbon loss from forest ecosystems in the range of 0.5-2% of net plant photosynthesis.

Tropical rainforests are estimated to be a major source of isoprene to the atmosphere. By association, the vegetation of subtropical areas can be a potential source of isoprene to the atmosphere. However, there is scant data on isoprene emission from tropical tree species in subtropic regions. Although several modeling studies to estimate isoprene emission in Asia area have been made, limited information on the direct measurement of isoprene emission from tropical trees growing in subtropics is available. Thus, this study surveyed isoprene emission from 42 indigenous and exotic tropical trees in subtropic Okinawa, Japan. Of the 42 trees studied, 4 emitted isoprene at a rate in excess of $20 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$, and 28 showed the rates of 1 to $10 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$. The remainder emitted less than $1 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$. The majority of trees in this study may therefore fall within the lower emitting species. However, species in Moraceae that is indigenous in Okinawa emitted isoprene at relatively higher rates with an average of $14.2 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$. The highest emission rate of $107.1 \mu\text{g g}^{-1} \text{h}^{-1}$ for *Ficus virgata* yielded the area basis rate of $47.4 \text{ nmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, which is almost equivalent to the rate of high emitting species. Furthermore, a linear relationship between light intensity and isoprene emission was noted with *Ficus virgata* up to $1700 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. These findings may show the potential importance of subtropical areas as sources of isoprene to the atmosphere.

Several environmental factors have been reported to regulate the isoprene emission from plant leaves. Among the factors, light and temperature have been well studied as to their effect on isoprene emission. Besides these two factors, humidity is another part of environmental factor to affect the plant physiology. However, no attempt in laboratory scale has been made to elucidate the effect of humidity on isoprene emission. Thus this also studied the effect of humidity on isoprene emission from leaves of a tropical tree *Ficus virgata* for the first time. Under high humidity, a sharp rise in the emission rate was seen with the lapse of irradiance at 500 and $1000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, respectively. However, this is not the case for low humidity. A lack of sharp rise was noted under low humidity. Furthermore, the steady state emission rate increased with high humidity without any changes in the leaf temperature. The present study therefore suggested that humidity is an important environment factor to control the isoprene flux from tropical plant, and should be taken into consideration for future estimation of isoprene flux from tropical forest.

学位論文審査結果の要旨

学位申請者 氏名	Parlindungan Tambunan
審査委員	主査 琉球 大学 教授 屋 宏 典
	副査 琉球 大学 教授 馬場 繁幸
	副査 佐賀 大学 教授 野瀬 昭博
	副査 宮崎 大学 教授 中尾 登志雄
	副査 鹿児島 大学 教授 冨永 茂人
審査協力者	
題 目	Study on the isoprene emission of tropical trees in Okinawa island (沖縄産熱帯樹木のイソプレン放出に関する研究)
<p>植物から放出されるイソプレンガスは大気環境化学上重要な役割を果たしていることが明らかにされている。すなわち、イソプレンは反応性が極めて高く、大気中のヒドロキシラジカルとイソプレンが反応して局地的に生成されるオゾン是人の健康及び農産物の生産性に悪影響を及ぼすとされている。また、温暖化ガスであるメタン分解にヒドロキシラジカルが関与しているため、イソプレンによるヒドロキシラジカルの消費は間接的にメタン分解を抑制することになり、温暖化を促進する。さらに、イソプレン放出は光合成で固定した炭素の最大2%相当に達する場合もあり、生態系の炭素収支に影響する因子とも考えることができる。</p> <p>熱帯雨林は大気圏へのイソプレンガスの主要な供給源とされている。同様に亜熱帯域に生育する熱帯樹木も重要なイソプレン供給源であることが推測されるが、亜熱帯域の樹木のイソプレン放出能を直接的に測定した研究は少ない。本研究ではまず、亜熱帯域からのイソプレン放出を予測するための基礎データを取得することを目的として、亜熱帯沖繩に自生或いは外来の熱帯樹木42種のイソプレン放出能を計測するとともに光、温度等の環境因子に対するイソプレン放出の応答特性を明らかにした。すなわち、計測</p>	

した 42 種の中、4 種の放出速度は $20 \mu\text{g/g/hr}$ 以上であり、28 種は $1\text{--}10\mu\text{g/g/hr}$ 、残りは $1 \mu\text{g/g/hr}$ 以下であった。従って、本研究で計測した樹木類の大半は低放出群に分類されると判断された。しかしながら、沖縄在来のクワ科植物の放出速度は比較的高く、平均放出速度は $14.2 \mu\text{g/g/hr}$ と見積もられた。とりわけハマイヌビワ (*Ficus virgata*) の放出速度 $107.1 \mu\text{g/g/hr}$ は葉面積換算では $47.4 \text{ nmol/m}^2/\text{s}$ に相当し、高放出群に分類されると判断された。さらに、ハマイヌビワからのイソプレン放出は光強度 $1700 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ まで直線的に増加し、温帯植物において観察される $600 \mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ 近傍での光飽和現象は観察されなかった。これらの結果は熱帯同様亜熱帯域の植物も大気圏への重要なイソプレン供給源となることを示唆した。

次いで、光、温度に次ぐ環境因子として、湿度のイソプレン放出速度への影響について検討した。高湿度環境下においては、光照射は急激なイソプレン放出速度の上昇を引き起こすが、低湿度条件下ではこのような現象は観察されなかった。さらに、定常状態のイソプレン放出速度も湿度依存的に増加した。これらの結果は光、温度のみならず湿度もイソプレン放出を規定する因子であることを示唆しており、今後の熱帯・亜熱帯植物のイソプレン放出予測式に取り入れる必要があることを指摘している。

これらの研究は、熱帯のみならず亜熱帯域の植物群とりわけクワ科植物は重要なイソプレン供給源であることを示すとともに、熱帯植物のイソプレン放出の環境特性が温帯植物とは異なる可能性を指摘しており、地球温暖化を含めた大気環境の変動予測に寄与する知見と考えられ、博士の学位を授与するに足る業績と判断した。

最終試験結果の要旨

学位申請者 氏名	Parlindungan Tambunan						
審査委員	主査	琉球	大学	教授	屋	宏	典
	副査	琉球	大学	教授	馬場	繁	幸
	副査	佐賀	大学	教授	野瀬	昭	博
	副査	宮崎	大学	教授	中尾	登	志雄
	副査	鹿児島	大学	教授	富永	茂	人
審査協力者							
実施年月日	平成19年1月20日						
試験方法（該当のものを○で囲むこと。）							<input checked="" type="radio"/> 口答・筆答
<p>主査及び副査は、平成19年1月20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、いずれも満足できる回答を得ることができた。</p> <p>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。</p>							

学位申請者 氏名	Parlindungan Tambunan
<p>[質問1]植物におけるイソプレノイド合成系について、サイトゾルとクロロプラストに存在することをスライドで示していましたが、それぞれの経路の役割は異なっているのでしょうか？</p> <p>[回答1]一般的に細胞質のメバロネート経路はステロール類を合成し、クロロプラストではイソプレン、カロテノイド等を合成してチラコイド膜の安定性維持に関与していると考えられています。両経路には中間体のやりとりが多少はあるようですが、本研究の結果は原則としてそれぞれが独立した代謝経路であることを示していると考えています。</p> <p>[質問2]イソプレンは結局人々の生活にとっていいものなのでしょうか？</p> <p>[回答2]文献によってはいいとする場合もあり、悪いとする場合もあるようです。例えば、植物にとってイソプレン放出は耐暑性を獲得する一つの手段である一方、大気環境中に放出されたイソプレンが原因となって生成するオゾン是有毒であり、農業生産性を低下させることが現実問題となる可能性を指摘する声もあります。また、人の呼気にもイソプレンは含まれておりますが、これが健康上何を意味しているのかあるいは、どこで合成されているのかも不明です。</p> <p>[質問3]Sharkeyのグループはイソプレンの生理的役割を耐暑性と考えているようですが、光合成産物を前駆体とするクロロプラストでのイソプレンの合成経路からすると、光強度及び温度が強い熱帯域では余剰の光エネルギー処理するための適応と考えることはできないか？ また、ハマイヌビワで観察された光強度とイソプレン放出の直線性は他の熱帯植物にも一般化できる現象なのか？</p> <p>[回答3]熱帯植物すべてがイソプレンを放出しているわけではないので、必ずしもこれをもってしてすべての植物に適用することはできないと思います。ハマイヌビワは耐陰性がなく、光に強い植物に特異的な現象といえるのかも知れません。また、温帯域の植物では光と温度が熱帯ほど高くはないのに対し、熱帯では光が強く、そのため余剰の光エネルギーの処理法としてイソプレンが合成され、光強度に依存して直線的に増加するように適応してきたとする考えはとてもおもしろいと考えます。</p> <p>[質問4]マングローブでのイソプレン放出は計測したか？</p> <p>[回答4]残念ながら計測してありません。</p> <p>[質問5]イソプレンはガスだが細胞質に溶け込んでいるのか？</p> <p>[回答5]イソプレンは脂溶性物質であるため水には溶けにくく、合成されると同時に気孔からガスとして放出されているものと考えています。</p> <p>[質問6]湿度の影響を調べた実験で、高湿度になると葉の温度が下がるのはなぜか？</p> <p>[回答6]蒸散速度との関連があるのかも知れませんが、理由についてはよくわかっておりません。また、湿度の影響についても葉の温度を一定にすることができればもう少しクリアな結果が得られたかも知れません。</p> <p>[質問7]イソプレン放出には光は必要ですか？夜間の放出はありませんか？</p> <p>[回答7]本研究結果で示しましたように、光は必要で、夜間のイソプレン放出はありません。</p> <p>[質問8]光強度とイソプレン放出の関係を野外で調べた実験がありますが、図の中で3点だけ他の測定点よりもかなりはずれています。原因は何なのでしょう？</p> <p>[回答8]2分間の測定ですが、光強度は2分間においてもかなりの変動があり、これらの測定誤差が影響しているのではないかと考えています。</p> <p>[質問9]イソプレン放出に影響する因子として、光、温度、湿度をあげていますが、最も重要な因子はどれでしょうか？</p> <p>[回答9]イソプレン合成の基質は光合成産物ですから、光が最も重要な因子であると考えています。</p>	