

観測に基づく先進的な定式化によるグローバルな生物圏の生産力推計と気候変動科学への目覚ましい貢献

クリストファー・フィールド 博士

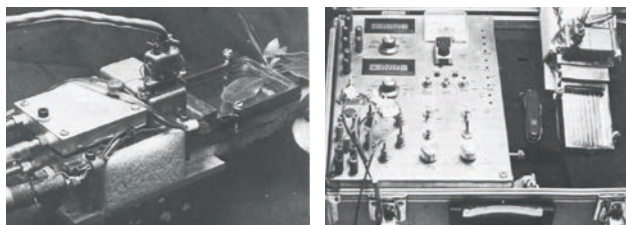
1953年3月12日生まれ(68歳)
スタンフォード大学ウッズ環境研究所 所長

生きた葉の光合成速度や蒸散量を測定する

植物は光合成によって大気中の二酸化炭素(CO₂)を吸収し、有機物に変換します。しかし、地球上にはさまざまな種類の植物が存在し、また、生育している場所の気候や土壌、標高などによって、その植物が行う光合成速度は異なります。

フィールド博士は、1980年代初めに、葉の光合成速度や蒸散量を測定できる装置を開発しました(写真)。気温や湿度、CO₂濃度をコントロールでき、さまざまな条件下で葉の光合成速度や蒸散量を測定することができます。

この装置の最大のポイントは持ち運ぶことができます。装置を持ち運べないと、植物を採取して実験室



土壌に根付いている植物の“生きた葉”で測定

装置一式はスーツケースに入れて持ち運ぶことができる

Field et al. (1982, *Plant, Cell & Environment*)

に持ってこなければならぬため、環境や植物の生理活性が変わってしまい、正しいデータが得られません。

この装置は土壌に根付いている植物の“生きた葉”を用いて、その場で測定することができます。植物を採取したり移動したりする必要がなく、生育環境を反映したありのままの自然な状況下で観測・測定できるのです。

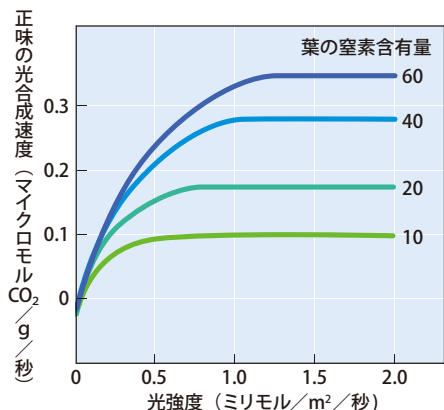
フィールド博士はこの装置を持ってさまざまな場所に赴き、野外調査と実験によりデータを積み重ねました。

葉の光合成、気孔の働き

フィールド博士は、野外調査と実験によるデータをもとに、理論的な研究を進めました。そして、気温や光、大気中のCO₂濃度、葉に含まれる窒素量などによって、葉の光合成速度がどう変化するかを式で表せるようにし、複雑な植物の現象を定量的に扱えるようにしました(このように複雑な現象を数式を用いて定量的に表すことを「定式化」といいます)。

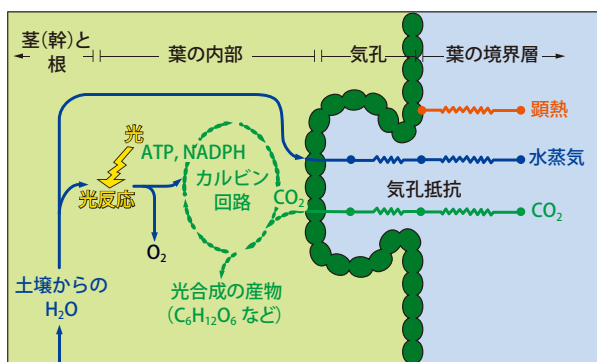
光合成速度には窒素も大きく影響します。フィールド博士は、光合成速度が葉に含まれる窒素の量や光の当たり方によってどう変化するかを明らかにしました(図1)。こうした研究は窒素肥料の利用効率向上に向けた農業分

図1：光合成速度と葉の窒素含有量と光強度の関係



Field (1983, *Oecologia*) をもとに作図

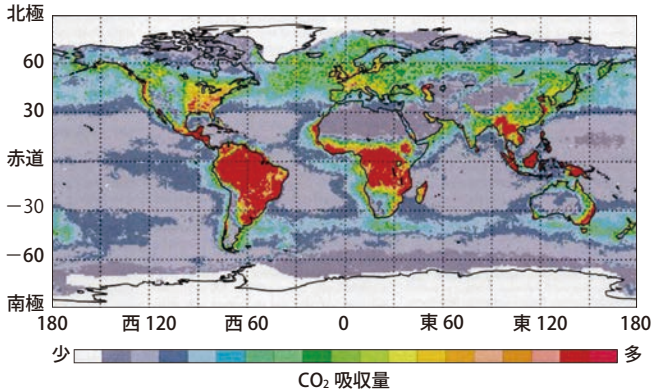
図2：葉の光合成と気孔抵抗の融合



Sellers et al. (1997, *Science*) をもとに作図

気孔でのCO₂や水蒸気の通りやすさは「気孔抵抗」という指標で表される。これにフィールド博士による光合成に関する定式化が導入され、大気と植物の間のCO₂や水蒸気の移動がさまざまに推計できるようになった。

図3：グローバルな生物圏のCO₂吸収量の分布



Field et al. (1998, Science)

野の取り組みにも貢献しています。

そして、フィールド博士が行った定式化は、地球温暖化による気候変動を理解し予測するのに必須である気候モデルに導入されました。

植物の葉の表皮には「気孔」という小さな穴があり、気孔の開閉によって、光合成に使うCO₂を大気中から取り込んだり、根から吸い上げた水を水蒸気として放出したりします(図2)。つまり、気孔は大気と植物の間でCO₂や水の交換を行う窓口といえます。

それまで提唱されていた気候モデルにフィールド博士の定式化が導入され、「生きた植物」の存在が加わることで、大気と植物の間のCO₂の出入り、つまり、炭素循環が気候モデルに新たに加わりました。

大気中のCO₂濃度や気温の上昇が植物の成長や光合成速度(CO₂吸収量)にどう影響し、それが気候にどうフィードバックされるか。こうしたCO₂の循環を踏まえた将来の気候変動予測ができるようになったのです。

グローバルな生物圏のCO₂吸収量

葉の観測データをもとに構築された定式化は、さらに、植物群落を大きな1枚の仮想的な葉として扱えるように発展しました。複雑な植生の環境応答をこのように定式化することの大きな意義は、陸(植生)と海の生物圏を統合し、地球規模の解析へとスケールを拡張できることです。

フィールド博士は、アメリカ航空宇宙局(NASA)などの地球観測研究者との連携によって、人工衛星からの観測データを用いて、地球上のどこの植生がどのくらいCO₂を吸収しているか(植物の光合成による生産力)を推計しました。

さらに、海洋研究者と連携し、海洋生物圏のデータと統合することで、陸と海の生態系を合わせた地球規模の

CO₂吸収と放出量の分布を世界で初めて明らかにしました(図3)。

人為的なCO₂排出と環境中のCO₂吸収

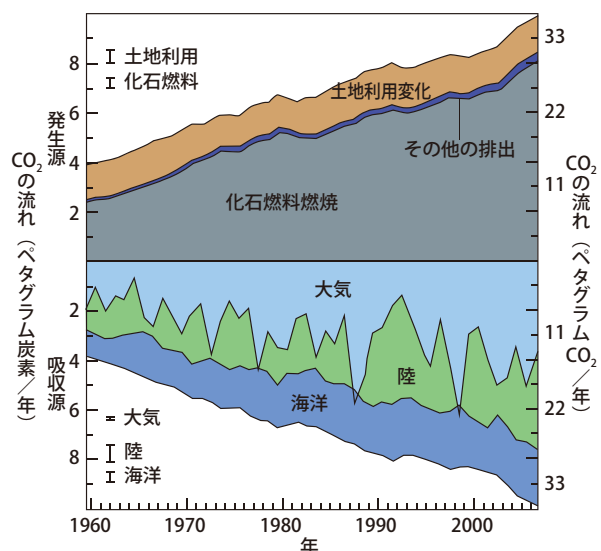
さらに、人為的に排出されるCO₂が、陸と海の生態系にどのくらい吸収され、大気中にどのくらい残るかを推計しました(図4)。

人為的なCO₂排出量は年々増えており、それに伴い海洋が吸収するCO₂量も増えていますが、陸(植生)が吸収するCO₂量は年によって大きく変動していることがわかりました。陸は安定してCO₂を吸収していると考えられていましたが、そうではなかったのです。陸が吸収しきれなかったCO₂が大気中に残り、それが大気中のCO₂濃度の上昇の原因になっていることが、この推計から明らかになりました。

フィールド博士のこうした研究によって、すでに温暖化が進んでいる中で、海や陸の生態系がどのくらいのCO₂を吸収するか、そして、人間がCO₂排出量を減らしたり、森林伐採などの土地利用変化を抑制したりすると、大気中のCO₂濃度が何年間でどのくらい減るかといったことが推計できるようになったのです。

葉1枚の観測から始まり、グローバルな生物圏の生産力(CO₂吸収量)の研究へと発展したフィールド博士の研究成果は、気候変動科学に大きく貢献し、また、地球温暖化対策における国際的な政策議論の科学的根拠となっています。

図4：人為的なCO₂排出と環境中のCO₂吸収



Canadell et al. (2007, PNAS) をもとに作図