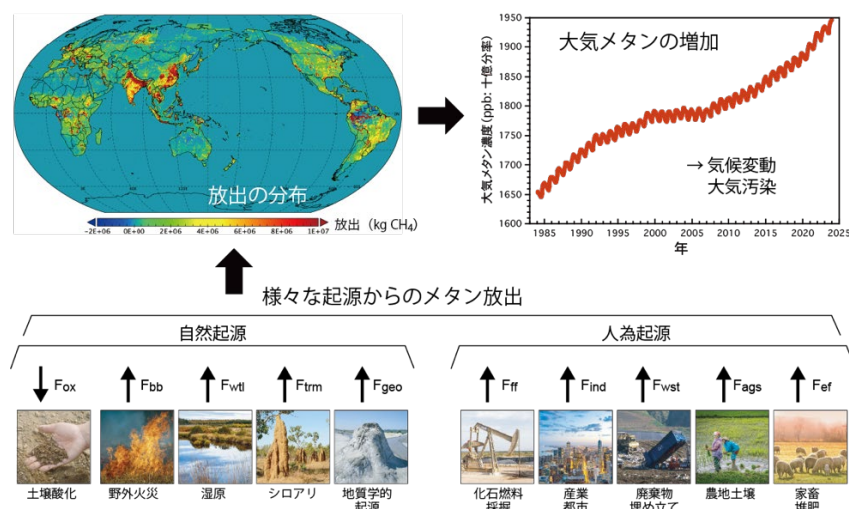


メタンは気候変動の影の主役？身近にもあるメタン発生源について

伊藤 昭彦（東京大学大学院）

猛暑や暖冬が普通になってしまったほど、地球の気候は急速に変わりつつあります。その大きな原因である、人間活動から放出される温室効果ガスを減らすことが求められています。温室効果ガスと聞くと、石炭や石油などを燃やしてできる二酸化炭素（ CO_2 ）を思い浮かべる人が多いと思いますが、実はそれだけではありません。ここで話すメタン（ CH_4 ）は、実は温室効果ガスとして重要なだけでなく、科学的にも興味深い様々な特徴があります。

大気中には微量ながらもメタンが存在し、しかも年々増えています。それはどこから来るのでしょうか。大気の中でメタンは、10 年ほどで化学反応によって消えていくことが分かっています。しかし、それを上回るほどの量が地上の様々な場所から放出されることで、大気中のメタンは増加しており、産業革命前（18 世紀頃）と比べて2倍以上になっています。地球全体で見ると、湿原が最も大きなメタンの放出源になっており、それは昔から今まで変わりません。水浸しになった湿原の状態は、メタンを発生させる微生物には好都合で、熱帯の泥炭地から高緯度のツンドラまで広く分布しています。他にも、森林火災による不完全燃焼や、火山や温泉（地中でもメタンが生成されます）からもメタンが出ています。注目すべきことに、昆虫（シロアリなど）や動物（ウシやヒツジなど）の一部には、体の中に湿原と同じような微生物を住ませて食べ物の消化に利用しているものがあり、それらは体からメタンを放出しています。最近でも植物がメタンを放出・吸収しているなど新たな発見が報告されており、活発に研究が行われています。一方、近年の大気中のメタン増加は、天然ガスや水田など人間社会からメタンを大量に放出していることによって起こっており、対策が進められているところです。本講演では、温室効果ガスとしてのメタンの重要性と、地球全体での放出の状況について研究の成果を解説します。



地球上に存在する様々なメタンの放出起源とそれが大気を与える影響

サンゴ年輪から人新世の環境変動を読み解く

中村 修子（慶應義塾大学・明治大学）

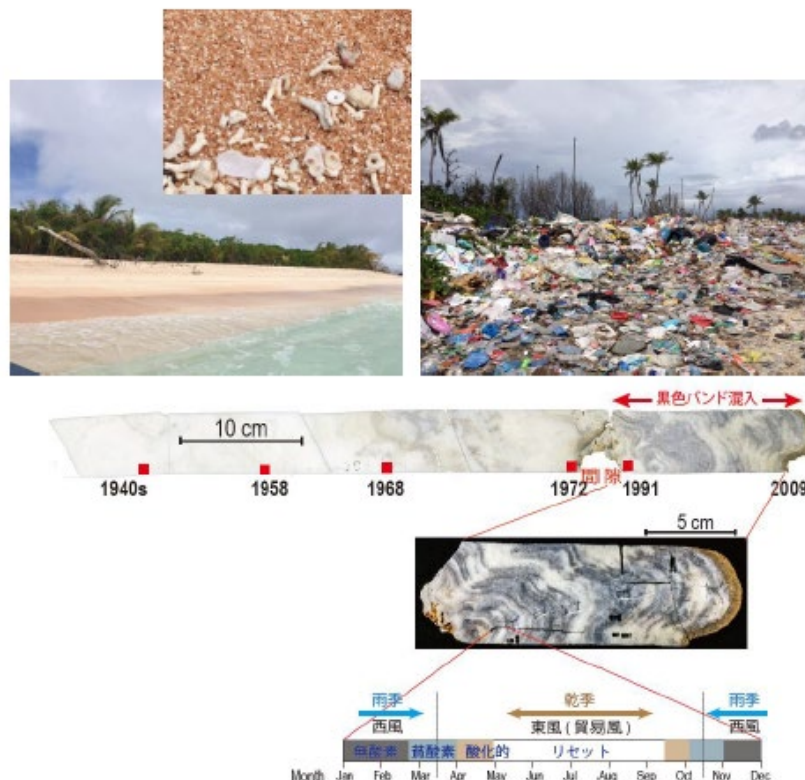
サンゴの骨格には樹木のような年輪があり、長ければ数 100 年間の気候や環境変動を記録します。彼らの昔話を丁寧に読み解くと、近年の温暖化や人間活動の影響が見えてきます。

ケニアの 115 年分のサンゴ年輪から、インド洋版エルニーニョ現象（インド洋ダイポールモード）に伴う降水記録を復元しました。20 世紀後半からの海水温の上昇が、ダイポールモードを変調させて頻度が増すことも分かりました。

南太平洋ツバルの首都フナフティ環礁、フォンガファレ島のサンゴ年輪には、1990 年代から真っ黒な混入物が見られます。温暖化・海面上昇による水没の危機に直面するツバルは、一方で人口が増加し廃棄物や生活廃水によりサンゴ礁が劣化しています。サンゴの礫や有孔虫の殻（ホシズナ）が堆積することで形成されるサンゴ環礁島では、サンゴ礁と生態系の劣化は致命的です。

サンゴ礁への脅威・ストレスは、グローバルな気候変動とローカルな人間活動の複合問題です。果たして、サンゴ礁から遠く離れて暮らす私たちには無関係なことなのでしょうか？

サンゴのナチュラルヒストリーをぜひ お聴きください。



写真(左上) ツバルフナフティ環礁の無人島のビーチ (右上)首都フォンガファレ島の廃棄物集積場 (下)フォンガファレ島のサンゴ年輪 (1940-2009)．1991 年以降に黒色物が混入する． Nakamura, N. et al. 2020 より改図

気候変動は樹木による木材の形成機構にどのような影響を及ぼすのか？

船田 良（東京農工大学）

化石資源の大量消費や熱帯林の減少などにより温室効果ガスである大気中の CO_2 濃度が上昇しており、地球温暖化の急激な進行に伴い、高温・豪雨・干魃・季節外れの大型台風、など異常気象が頻繁に起こっている。超多年生で巨大な樹木が生産する木材など木質バイオマスは、光合成により葉から吸収した CO_2 をセルロースなど細胞壁成分として長期間固定する機能を有し、カーボンニュートラルの達成に重要な生物材料である。循環型社会を構築しバイオエコノミーの発展を達成するには、再生可能な資源である木材の高度利用推進と CO_2 固定能力や環境適応性の高い樹木の創出が不可欠である。さらに、木材の高度利用は持続的な「木の文化」の発展に重要である。木材は、生物体である樹木の形成層（cambium）細胞の分裂と形成層由来の細胞の分化により生産されるため、木材の量・質や炭素固定量は環境的要因や遺伝的要因により変動する。本講演では、気候変動下における樹木の成長や木材の形成機構に関して報告すると共に、「樹木科学」や「木材科学」の魅力を伝えたいと思う。

樹木の樹幹には横方向に分裂する形成層が存在し、形成層細胞分裂が長期間持続することにより、肥大成長が起こる（図 A と B）。温帯に生育する樹木の形成層活動は、細胞分裂期と停止期（休眠）を繰り返す周期性と年変動を示し、周期性と気温との間には密接な関連性がある（図 C と D）。常緑針葉樹であるトドマツ、スギや落葉広葉樹である交雑ポプラ、コナラなどの樹幹を、形成層が休眠中である冬期に局部的に加温処理すると、数日後に加温した樹幹のみ形成層細胞が分裂を開始した。樹幹温度の上昇が、形成層活動再開の直接的な引き金であることを実験的に証明したといえる。また、晩冬から初春にかけての気温が高いと、形成層活動の分裂再開が早く起こる。晩冬から初春の気温の変化と形成層再活動との関連性の解析結果から、分裂開始にはある閾値以上の最高気温が一定期間以上累積することが必要である。閾値には樹種特性があり、交雑ポプラでは 15 度以上、サワラでは 13 度以上、スギでは 10～11 度以上の最高気温が一定期間以上続くと形成層活動が再開した。閾値の違いが、同一環境下での形成層活動の再開時期の樹種による違いを生じさせており、各樹種の生存戦略に関係していると考えられる。さらに、最高気温と閾値との差を加算した値を基に、形成層活動の再開時期を気象データから予想する上で有効な形成層再活動指標（Cambial Reactivation Index; CRI）を初めて提案した。CRI は、形成層活動の再開時期の将来予測を気象データを基に行うことが可能である。地球温暖化が進行し、晩冬や初春の気温が上昇した場合、形成層活動の再開時期が早くなる可能性が高い。形成層活動の再開時期が早くなることにより肥大成長期間は長くなり、より多くの木材が形成されることが予想される。一方、形成層活動が再開し耐寒性が低下した後の急激な気温低下により、形成層が低温傷害を受ける可能性も充分考えられる。気候変動が樹木の成長量に与える影響は、プラスとマイナスの両面があるといえる。

気温や日長時間が変動しないインドネシアなど熱帯に生育する樹木において、雨季では形成層細胞の分裂が活発に行われ乾季では停止する。したがって、熱帯では降水量が形成層活動の変動における制限要因であり、温帯と熱帯では樹木の形成層活動を制御する外的要因が異なるといえる。今後、地球規模で気候が大きく変動した場合、樹木の環境適応性や成長特性は生育地や樹種により大きく異なることが予想される。

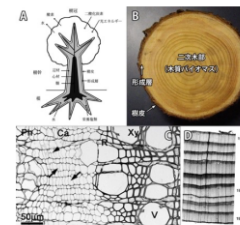


図 4 (A) 樹木の構造、(B) 樹幹の構造、(C) 形成層細胞の分裂（矢印・矢頭：分裂面、Pl: 篩部、Ca: 形成層、Xy: 木部、R: 放射線維、V: 道管要素）、(D) 樹幹の肥大成長量（年輪幅）の変動

地球温暖化が鳥の生活に及ぼす影響

樋口 広芳（慶應義塾大学自然科学研究教育センター・東京大学）

近年、渡り鳥をふくむ鳥類への温暖化の影響が注目されている。鳥は昼行性の生きものであるため目につきやすく、人々の関心が高い。観察情報が古くから蓄積されており、温暖化が生活に及ぼす影響についての研究が広く行なわれている。本講演では、日本に渡来する鳥たちを中心に、温暖化が渡来時期や繁殖時期、ほかの動植物との相互関係に及ぼす影響について述べる。また、今後さらに温暖化が進んだ場合、渡り経路や生息域がどう変化するかについての未来予測についても紹介する。

温暖化による影響は、鳥の繁殖時期に明瞭に見てとることができる。新潟市での巣箱を使った長期にわたる繁殖調査の結果によれば、コムクドリの産卵開始日の年平均は、1978年以降の45年間で約12日早くなっている。暦の月日でいうと、1978年には平均して5月19日だったが、2023年には5月7日になっている。新潟市の早春（2～4月）の日最高気温の平均は、同じ45年間で2.2℃上昇している。気温と産卵開始時期の関係を見てみると、早春の気温が高い年ほど産卵開始時期が早い傾向がある。

温暖化は、もちろん鳥以外の生きものの生物季節にも影響している。しかし、同じ地域に生育・生息する生物でも、温度変化に対する応答は種や分類群によって異なる。一般に、植物の応答は動物に比べると遅い。新潟市のコムクドリとソメイヨシノについて調べてみると、早まりの程度はコムクドリの繁殖時期の方が2倍ほども早い。その結果、コムクドリは、1970年代頃までひなの食物として多数利用していたサクラの実を、最近ではわずかししか利用できなくなっている。

温暖化は、渡りの経路をも変化させてしまう可能性がある。たとえば、秋に東シナ海を渡るハチクマにとっての大気条件は、今世紀半ばにはかなり悪化し、今世紀末には、ハチクマは渡りに好都合な東からの追い風を利用できにくいと推測される。風の恩恵を受けて移動する渡り鳥は、急速な気候変動によって渡り経路などを変更せざるをえない可能性が高い。また、統計学的手法にもとづく種の分布推定モデルにもとづくと、今世紀末までにハチクマの繁殖分布域は9～21%、越冬分布域は11～26%縮小すると予測される。ハチクマの生息域は、全体として狭まることになる。

さらに、温暖化による海水温の上昇とそれにとまなう海水の膨張や、極地の氷床や高地の氷河の溶解は、海水面の上昇をもたらす、それは干潟の減少や消失、そこを訪れるシギ・チドリなどの減少につながる。一方、温暖化にとまなう越冬期の死亡率の減少や繁殖期の繁殖成功率の増加により、ハクチョウ類などの個体数が急増し、繁殖地のツンドラ生態系が変質してしまう可能性も指摘されている。

温暖化のこわいところは、特定地域への影響でなく、まさに地球規模で問題が広がる点である。今後の温暖化はまちがいなく、鳥をふくめたさまざまな生きものに広く、多大な影響をもたらす、生態系全体を大きく変貌させる。それは、私たち人間の食生活や心身の健康にも大きな影響を及ぼすことになる。温暖化を止めることは容易ではない。しかし、問題解決の根本は、私たち自身の理解と実行にかかっている。身近な自然を見つめるなかで、理解を深め、実行力を高めていく必要がある。