



愛研技術通信

掲 示 板

法令・告示・通知・最新記事・その他

○ シチズンサイエンスで挑む雷の謎

～ 宇宙線と雷雲の相互作用は、雷の始まりに影響を与えるのか？ ～

2023年5月15日京都大学報道発表資料抜粋

京都大学、金沢大学の研究グループは、岐阜大学、名古屋大学、早稲田大学他と共同で、市民サポーターと連携したシチズンサイエンス「雷雲プロジェクト」で、雷雲から放射されたガンマ線の検出に成功しました。

【 背景 】

雷は太古の昔から身近な存在ですが、実はどのように発生するのかよく分かっていません。雷放電がひとたび始まると、数十メートルずつ進展しながら放電路を形成する前駆段階「ステップトリーダー」が発展し、これが地上に到達して、雷鳴と雷光を伴い大電流が流れる「リターンストローク」が発生します。歴史的には、18世紀にベンジャミン・フランクリンが「雷は電気現象である」と突き止めてから3世紀が経ち、ステップトリーダーが始まった後の現象には多くの知見が蓄積されてきました。しかし、雷がどのように開始（トリガー）されるかは未解明なままです。

空気は電気を流さない絶縁体のため、雷のような放電を引き起こすためには、大気中の電場（電気の力が働く強さ）が強くなり、絶縁破壊電場（ 300万Vm^{-1} ）と言われている値に達する必要があります。しかし、実際に気球などを使用し雷雲内の実際に電場を計測すると、それより1桁以上も低い電場で放電が起こるため、雷の発生のかきかけには電場だけではない別の何か（要因）が関わっていると考えられています。その雷発生要因の候補の一つが、宇宙の彼方から到来する高エネルギーの粒子「宇宙線」です。宇宙線が大気中の物質にぶつかると、大量の粒子をねずみ算式に生み出す「宇宙線の空気シャワー」が起こります。これが雲内の電場と相互作用した際に局所的に密度の高

い相対論的なエネルギーを持つ電子の流れが生じ、雷放電を誘発するのではないかと、という仮説があります。

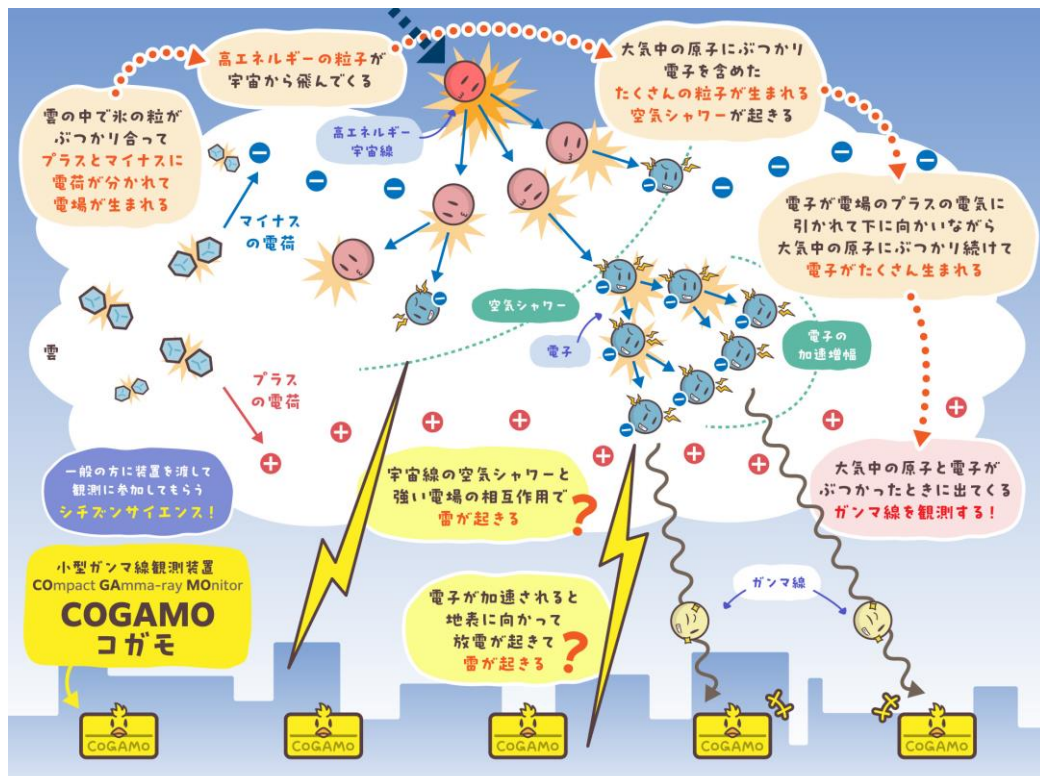


図. 宇宙から降り注ぐ宇宙線の空気シャワーと雷雲の相互作用で、電子が加速されてガンマ線が発生する様子と、それが雷放電のトリガーになる可能性を示す模式図

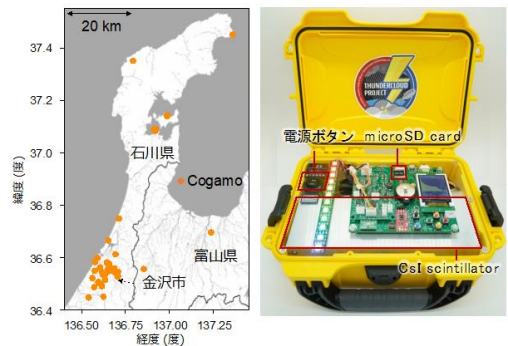
雷のトリガーや高エネルギー粒子の反応といったミクロな現象を、上空の雲の中で調べることはとても難しい研究テーマです。しかし、日本海側の沿岸に冬季に襲来する雷雲には、「雷雲ガンマ線 (gamma-ray glow)」と呼ばれる、この研究の鍵となる現象を起こしています。雷雲内の強い電場の領域に、宇宙線の空気シャワーが飛び込むと、この宇宙線の空気シャワーで種となる電子が電場で加速され、相対論的なエネルギーの電子の数を雪崩的に増やし、増幅されていきます。これらの電子はさらに、大気にぶつかって制動放射を起こし、1000万電子ボルト(10MeV)を超えるエネルギーを持つ光(ガンマ線)が地上に降り注ぎます。これが雷雲ガンマ線で、サーチライトのように地上を数分以上にわたって照らし続けます。この現象は雷放電そのものではないですが、雲の中で電子が加速されるほどの強い電場が存在することを示す「雷が起きる前駆現象」となっています。

そこで本研究では、この雷雲ガンマ線をたくさん見つけ出し、電波観測で特定できる雷放電の発生場所と詳細に比較することによって、雷雲ガンマ線や雲内の電子加速が雷発生の前駆現象であるのかを調べています。さらに、宇宙線と雷雲の相互作用が雷を引き起こすという仮説を検討し、関係するならどのように雷が始まるかを検証したいと考えています。

【 研究手法・成果 】

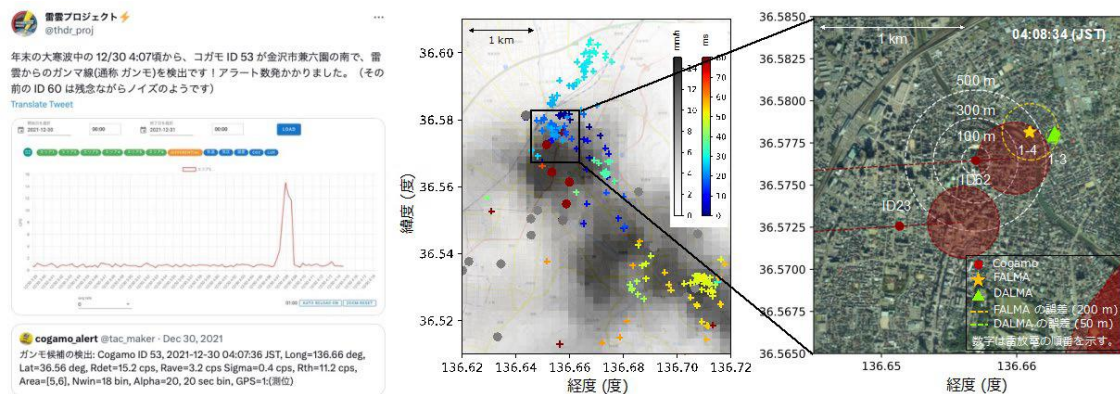
大気中では電子はあっという間に吸収されてしまうため、雷放電の鍵になる相対論的な電子を地上で観測するのは極めて困難です。ガンマ線はそれより遠くまで飛びますが、数百メートル程度の

ため、たくさんの場所にガンマ線を測定できる放射線モニタを設置して、ガンマ線を出す雷雲を追跡することが大切です。そこで本研究グループは、シチズンサイエンスを活用した「雷雲プロジェクト」を立ち上げ、ボタン一つで作動する小型の放射線モニタ「コガモ (Compact Gamma-ray Monitor= CoGaMo)」を開発しました。そして、冬季に雷雲が多数到来する金沢市周辺の市民サポーターの自宅の庭にコガモを設置することで、約70台の大規模な観測網を構築しています。コガモでは環境放射線のデータに加えて、温度、湿度、照度などの情報をモニターし、リアルタイムにサーバーに送信して雷雲を監視します。さらに雷雲ガンマ線をサーバーで検知すると、自動でアラートがTwitterに発出されるシステムも構築しました。



図(左) 石川県周辺でのコガモの設置場所 (黄色い丸点)
 (右) 雷雲プロジェクトで製作・設置した「コガモ」検出器

2021年12月30日、金沢市の中心部で雷雲ガンマ線を出す雲を複数のコガモ検出器が検出し、Twitterでもアラートが発出されました。詳しくデータを解析したところ、04:08頃に雷放電が発生し、同時に雷雲ガンマ線が途絶していることも分かりました。雷により雲の中の電荷が中和されて電場が消え、電子加速が発生しなくなり、ガンマ線も出なくなったと考えられます。さらに、金沢市の周辺は、すでに岐阜大学が運用するFALMAやDALMAという雷放電の発生場所を高精度で調べる観測システムが運用されており、それらと詳しく比較してみると、雷雲ガンマ線が発生している領域から雷放電が始まっていることが分かりました。これは、ガンマ線が発生するために必要な相対論的電子の加速が起きている領域の内部かその近くで、雷放電が始まっていることを示す証拠と言えます。また、気象レーダーのデータから雲内の粒子を判別した解析でも、その近くに強い電場の存在することが示唆されました。



図(左) 雷雲プロジェクトの公式Twitterアカウントによる当時のツイート。(中) 雷雲ガンマ線を観測したコガモ周辺の地図。レーダーで観測した降水強度をグレイスケール、雷放電の発生位置をカラーで示す。(右) 雷放電の開始位置の拡大マップ。赤いマークは雷雲ガンマ線の放射領域、黄色星と緑三角はそれぞれFALMAとDALMAによって観測された雷放電の最初の数回。

【波及効果・今後の予定】

雷のトリガー問題は未解明の大問題であるため、雷の発生メカニズムの決着までには道のりが長いと言えます。雷のはじまりの仕組みも、「雷雲の電場で加速された電子の数が増えて雷になる」のか、「この電場の領域に稀に入ってくる宇宙線の空気シャワーに含まれるエネルギーの高い粒子が引き金になっている」のか、あるいは「宇宙線には全く関係なく起きるのか」などは、今後の研究を待たなければなりません。しかし、今回の結果から、雷雲の中で発生している高エネルギー現象の観測を積み上げていくことの重要性が示されました。

また、市民サポーターと連携して多数のコガモ検出器を設置できたことが、今回の成果につながっており、シチズンサイエンスが最先端の科学においても有効と示されました。今後は、より多くの人に参加してもらえるような、扱いやすく安価な検出器の開発も重要であると考えます。さらに科学的には、ガンマ線を放射する雷雲の特徴を探るためにレーダーや電波との比較解析をさらに詳細に行い、雷放電の発生場所との位置関係との比較を精度良く行うことも求められています。そして何より、シチズンサイエンスを通して多くの人に科学と一緒に楽しんでもらえる共創的な科学 (Collective Power of Science) を実践していきたいです。

○ ロックダウンによる人為起源エアロゾル減少が気候に与える影響を全球規模で解明

～ 衛星観測に基づく原料物質の排出量変化から現実的な評価を可能に ～

2023年7月31日名古屋大学報道発表資料抜粋

名古屋大学、国立研究開発法人海洋研究開発機構 (JAMSTEC)、アメリカ航空宇宙局 (NASA) ジェット推進研究所 (JPL) の研究チームは、新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) パンデミック期の世界的なロックダウンに伴う排出量の減少により、大気中で作られる人為的なエアロゾル粒子量がどの程度変化し、地球の熱エネルギーバランスに影響を与えたかを明らかにしました。

【背景】

発電・産業・運輸などの平時の社会経済活動において、CO₂やエアロゾル粒子の原料物質など様々な物質が大気へと排出されています。そのうちCO₂は温室効果により温暖化を促進する「アクセル」のような役割を果たす一方で、エアロゾルは日傘効果などにより地球温暖化を抑制する「ブレーキ」のような効果があります。新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) のパンデミック期には、多くの国において感染拡大を抑制する目的でロックダウン等の措置がとられました。それに伴い、社会経済活動が急激に低下した結果、地球温暖化に対する「アクセル」と「ブレーキ」が同時に緩んだ状態になったと考えられます。それらの緩み具合の大小関係の評価は、人間活動が大気物質を通じて気候変動にどの程度の影響を与えているかを把握するために貴重な情報となります。そのため、世界各国の気候モデル相互比較計画 (略称: CovidMIP) による再現シミュレーションが緊急的に実施され、CO₂排出量の減少による冷却効果とエアロゾル量の減少による昇温効果が打ち消し合うことで、地球規模の気候変動に検出可能なほど大きな変化はもたらされないと報告されました。

しかしながら、評価の前提となる排出量や濃度の変化については、この時点では情報が限られており、詳細な評価が待たれていました。人為的なエアロゾルの評価を行うためには、対象とすべき硫酸塩・硝酸塩などの人為的なエアロゾルを、黄砂のような自然現象により発生するエアロゾルなどと区別して評価する必要があります。エアロゾルの衛星観測データに基づく評価もなされてきましたが、これらを区別することができないため、ロックダウンに伴う社会経済活動の変容がエアロゾルに与えた影響のみを取り出して詳細に評価することが困難でした。

本研究チームでは、従来とは異なるアプローチにより、ロックダウンの影響の定量的な評価を試みました。具体的には、JAMSTEC及びNASA JPLで開発されてきた多種類の大气物質を同時に取り扱うことが可能なデータ同化システムをESAの衛星観測データに応用し、人為的なエアロゾルの原料物質の排出量の変化を算出しました。その上で、ロックダウン時の人為的なエアロゾル量への影響度と気候への波及効果を評価することで、これまでの課題を解決し、現実的な排出量変化に基づく評価を可能としました。

【 成果 】

本研究では、まず、ESAによる衛星観測とデータ同化システムを組み合わせた推定から、エアロゾルの原料となる窒素酸化物 (NO_x) および二酸化硫黄 (SO₂) の2019年(平時)と2020年の排出量推定を詳細に比較することで、ロックダウンの影響を定量的に評価しました。その結果、2020年4月に主要排出地域(東アジア、北米、ヨーロッパ)のNO_xおよびSO₂の排出量がそれぞれ19~25%、14~20%減少したと推定しました(図1)。また、NO_x排出量はロックダウン実施後に急速に減少する一方、SO₂排出量はロックダウン後に徐々に減少するといったような、異なる時間変化を示しました。これらNO_xとSO₂排出減少量の時間変化は、それぞれの主要な排出源である運輸部門と製鉄部門の活動度の独立した指標である、モビリティ・データと粗鋼の生産量と良い相関を示しており、この排出量解析の確かさが認められました。

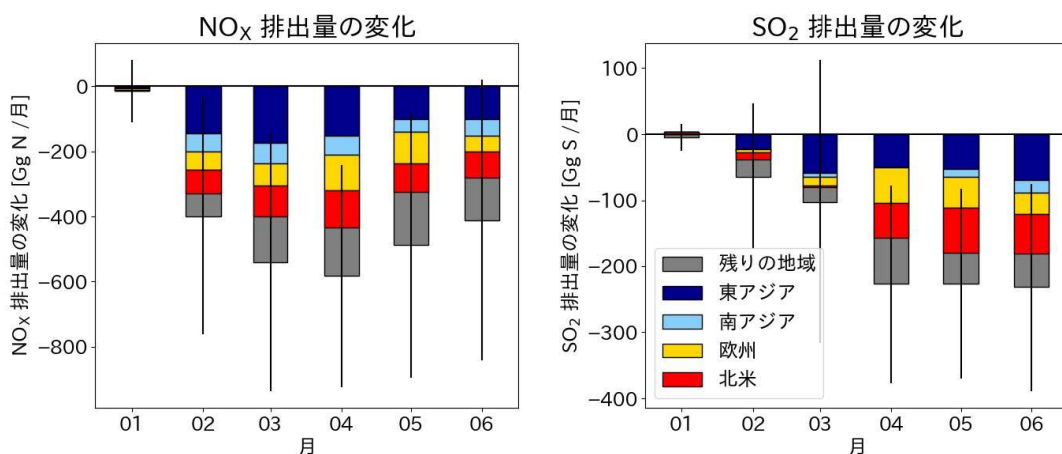


図1. 2020年1月~6月のロックダウンによる窒素酸化物(左)と二酸化硫黄(右)の排出量の変化(単位はそれぞれGg N/月、Gg S/月)。

ESAによる衛星観測とNASA JPL/JAMSTECで開発したデータ解析システムを組み合わせて推定した結果を示している。

その上で、研究チームでは、JAMSTEC のスーパーコンピュータ「地球シミュレータ」を用いた化学気候モデル MIROC-CHASER による計算から、ロックダウン中の NO_x と SO_2 排出量の減少が地球規模のエアロゾル量にどの程度の変化をもたらしたかを見積もりました。その結果、特に中国東部、米国東部、ヨーロッパでは、短期的にエアロゾル（硫酸塩、硝酸塩）の量が 8~21%減少していることを明らかにしました（図 2）。これは NASA の衛星観測から得られた 2015~2019 年の 5 年間と 2020 年間のエアロゾル光学的深さの変化の 34%以上に相当しており、 $\text{NO}_x \cdot \text{SO}_2$ 排出量減少がロックダウン期間のエアロゾル変化に大きな寄与をもたらしたことを示唆するものです（図 3）。また、モデルシミュレーションの詳細な分析により、 SO_2 排出量の減少が、 NO_x 排出量の減少によるエアロゾルの減少を部分的に打ち消すなど、複雑な生成メカニズムについても同時に明らかになりました。

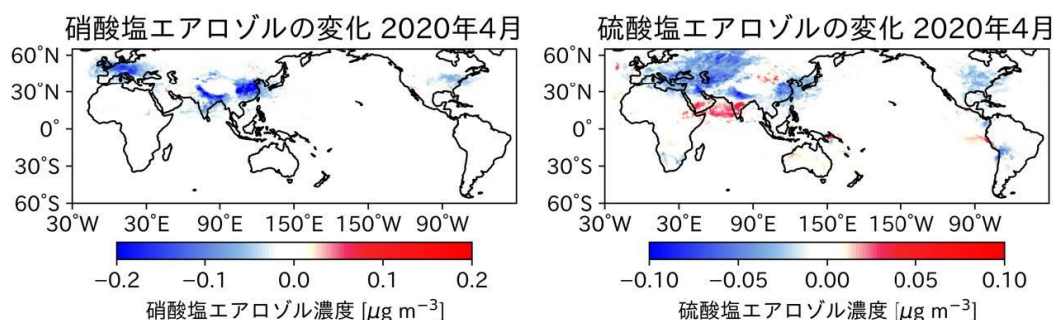


図 2. 2020 年 4 月のロックダウンによる対流圏大気中の硝酸塩エアロゾル（左）と硫酸塩エアロゾルの平均濃度の変化（単位は $\mu\text{g m}^{-3}$ ）。

硝酸塩と硫酸塩はそれぞれ主に窒素酸化物と二酸化硫黄から大気中の化学反応で生成される。排出量減少の推定値と全球化学気候モデルを組み合わせ推定した結果を示している。

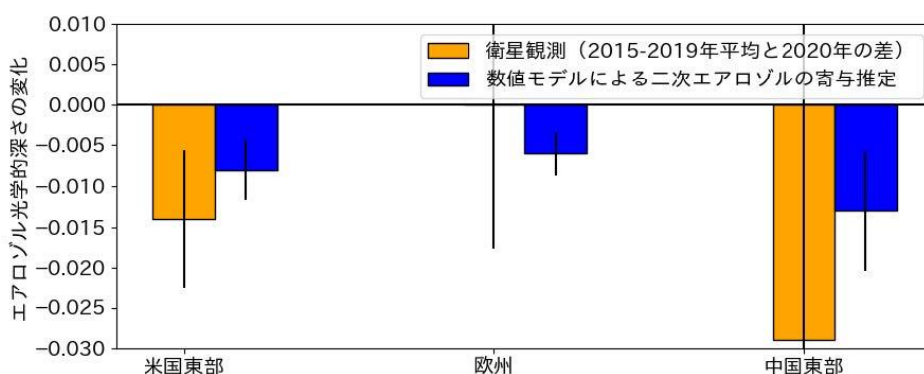


図 3. 米国東部、欧州、中国東部地域における 2020 年 4 月と 2015~2019 年 4 月平均の間の NASA 衛星観測によるエアロゾル光学的深さの変化（オレンジ色）と排出量推定値と全球化学気候モデルを組み合わせた二次エアロゾルのエアロゾル光学的深さの変化（青色）。

これらの地域では、ロックダウンによりエアロゾルによる太陽光の散乱・吸収量が減少することに伴い、地表に到達するエネルギー量が増加、その変化には人為的エアロゾルのエアロゾル光学的深さへの寄与が大きいことを示している。

最終的に、これらの結果に基づいて、ロックダウン期のエアロゾル量の減少が、地球全体の熱エネルギーバランスにどのように影響するかを定量的に評価しました。その結果、エアロゾルによる日傘効果が薄れ、地球に入る正味の熱エネルギーは 0.14 W/m^2 増加していると推定されました。

COVID-19パンデミック期のロックダウンが、他の大気物質を通じて熱エネルギーバランスに与えた影響と比較すると、エアロゾルの昇温効果の方が CO_2 の冷却効果 (-0.025 W/m^2)、対流圏オゾンの冷却効果 (-0.032 W/m^2) よりも大きいことがわかり、「アクセル」と「ブレーキ」の緩んだ度合いについての定量的な評価が大きく進展しました。

【 今後の展開 】

COVID-19パンデミック期の社会経済活動の急激な変容は、我々の社会経済活動が大気物質を介して気候変動に与える影響を理解する上で貴重な情報となるため、これまで数多くの研究が行われてきました。本研究の成果は、COVID-19パンデミック期のロックダウンが人為的なエアロゾル量に与えた影響とその気候への波及効果を、現実的な排出量変化に基づき、地球規模で初めて評価した、といえるものです。気候緩和策による CO_2 排出量の削減による冷却効果と、同時に進むエアロゾル量の削減による昇温効果は打ち消し合う関係にあることは知られていましたが、本研究は、その量的関係を精度良く明らかにすることができました。今回の結果は、エアロゾルによる打ち消しで CO_2 排出量の削減の効果が見えにくくなることを示しています。このことは逆説的に、今後の気候安定化のためには、エアロゾル量の削減が引き起こす昇温を打ち消すほどの、さらなる CO_2 排出削減努力が必要になることを示唆しています。このような知見は気候緩和策が各大気物質の変化を介して気候に与える影響を見積もる上で貴重な情報となります。例えば、将来の気候緩和策の最適化や、気候変動予測の改善にもつながることが期待されます。

○ 「PFOS、PFOAに関するQ&A集」及び「PFASに関する今後の対応の方向性」等について

2023年7月31日環境省報道発表資料抜粋

環境省が設置した「PFASに対する総合戦略検討専門家会議」（以下「専門家会議」という。）の監修の下で「PFOS、PFOAに関するQ&A集」を作成するとともに、専門家会議において、PFAS（ペルフルオロアルキル及びポリフルオロアルキル化合物）に関して現時点で取り組むべき事項が「PFASに関する今後の対応の方向性」として取りまとめられましたのでお知らせします。

【 「PFOS、PFOAに関するQ&A集」について 】

環境省や都道府県等が実施した調査において、河川・地下水等の水環境でPFOS（ペルフルオロオクタンスルホン酸）、PFOA（ペルフルオロオクタンスルホン酸）の暫定目標値（ 50 ng/L ）を超過する事例が確認されており、PFASのうち特に関心が高いPFOS、PFOAについては、住民の不安に寄り添い透明性を確保しながら適切な情報発信を行っていく必要があります。

こうした状況を踏まえ、「PFOS、PFOAに関するQ&A集」は、PFASのうちPFOS、PFOAについて、現時点の科学的知見等に基づき、専門家会議の監修の下で作成されたものです。今後、更なる科学的

知見等が得られた場合には、適宜、必要な見直しを行っていく予定です。

【 「PFASに関する今後の対応の方向性」について 】

PFASの一つであるPFOSやPFOAについては、人の健康の保護の観点から、その目標値や基準に関し国際的にも様々な科学的な議論が行われ、残留性有機汚染物質に関するストックホルム条約（POPs条約）においても規制対象物質とされています。

一方、これまでに環境省や都道府県等が実施した調査において、局地的に比較的高濃度のPFOS、PFOAが検出された地域の関係自治体や地元住民からは、その影響に関する不安や、目標値や基準値の検討等の対策を求める声が上がっています。さらに、PFOS、PFOA以外のPFASについても、各国・各機関において、これらの物質に関する管理の在り方等が議論されています。

こうした状況を受けて、専門家会議において、国内外の最新の科学的知見及び国内での検出状況の収集・評価を行い、これらを踏まえた科学的知見に基づくPFASに対する総合的な対応策について、「PFASに関する今後の対応の方向性」が取りまとめられました。

【 その他 】

土壤環境におけるPFOS等の測定方法について、暫定測定方法が取りまとめられました。

詳細は環境省ホームページをご覧ください。

https://www.env.go.jp/press/press_01977.html

編集後記

9月8日にフランスで開幕するラグビーワールドカップまで1ヶ月を切りました。直前に行われたオールブラックスXV、サモア、トンガ、フィジーとのテストマッチではあまり良い結果が得られませんでした。4年前の日本大会のような代表チームの一体感が薄いように感じました。新型コロナウイルスやスーパーラグビーからの撤退などで、海外の強豪チームとの試合が制限されたことや、国内のリーグ戦や代表合宿で、けが人が多く出ていることが影響しているかもしれません。戦術、戦略の強化とコンディションを調整して、日本大会の時のようなワクワクするような試合が見られることを期待します。(A.K)



株式会社 愛 研

(<https://ai-ken.co.jp>)

本 社 〒463-0037 名古屋市守山区天子田 2-710

電話(052)771-2717 FAX(052)771-2641

半田営業所 〒475-0088 半田市花田町 2-65

電話(0569)28-4738 FAX(0569)28-4749

