

令和 4 年 9 月 17 日現在

機関番号：82626

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2021

課題番号：18K11633

研究課題名（和文）福島事故起源放射性核種の地表面沈着に関する研究

研究課題名（英文）Study on the surface deposition of radionuclides derived from the Fukushima Daiichi nuclear accident

研究代表者

兼保 直樹（Kaneyasu, Naoki）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・上級主任研究員

研究者番号：00356809

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：関東北縁の山岳域での放射能汚染域に対する雲水沈着のメカニズムを、携帯電話基地局に当時設置されていた花粉センサーのデータから解析した。雲水組成に関する過去の知見と併せ、放射性物質を含む雲核から形成された雲粒は雲底付近に集中し、雲底高度が下がりながら通過した高度帯において雲水沈着による汚染域が形成される過程が示唆された。

粘土鉱物および土壌試料に対するヨウ素分子の取込み速度とその反応条件依存性を実験的に測定し、その地表面抵抗を評価した。土壌表面抵抗の推定値は大気輸送拡散モデルで一般的に使用されている値より大きく、夜間に放出されたI2の地表面抵抗は日射前後で異なる扱いをする必要があることが判明した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで、大気輸送拡散モデルを用いた放射能汚染域の再現あるいは放射性物質大気中濃度の評価は、沈着モジュールの種類やパラメータの変更、対象物質の物理化学特性あるいは気象データの差し替えなどにより精度の改善を図ろうとしてきた。しかし、本研究はこれまで気付かれていなかったデータを発掘し、解析することにより放射性核種の地表面沈着過程に関して新たな視点を提示し、モデル内のモジュールをいじる以上の対処の必要性を示した。また、代理物質の特性を用いずにヨウ素そのものの乾性沈着速度を計算するための基礎となるデータを提供した。これは放射性ヨウ素による被曝量の推定精度向上に向けて学術面のみならず社会的意義を有する。

研究成果の概要（英文）： To explore the possible cloudwater deposition that formed a distinctive contamination profile during the Fukushima Dai-ichi nuclear accident, data from pollen sensors deployed nationwide were analyzed. Considering the existing knowledge on vertical gradients of cloudwater composition, a formation process was proposed for the observed vertical distribution, that is, surface contamination occurred intensively at the contact line between the cloud base and mountain slopes via cloudwater deposition, and the descending cloud base formed the contamination zone.

In addition, uptake of molecular iodine (I₂) by clay minerals and aqueous solutions was investigated in the laboratory experiments to estimate the surface resistance, which is essential in calculating the dry deposition velocity. Our results show that using surface resistance of sulfur dioxide for soils as a proxy of I₂ in atmospheric transport/deposition models may result in substantial errors under low relative humidity conditions.

研究分野：大気化学、大気科学、大気エアロゾル

キーワード：放射性核種沈着 雲水沈着 ヨウ素 乾性沈着速度 地表面沈着 雲底高度

1. 研究開始当初の背景

福島第一原子力発電所事故の際に大気中に放出された放射性核種により、関東平野北縁に位置する山岳地域においても特定の高度域で地表面汚染が生じた¹⁾。この汚染域は主に2011年3月15日の大規模放出により形成されたことがこれまでの研究により示されている。当該山岳での沈着メカニズムとして雲水沈着の可能性が指摘されている¹⁾⁻²⁾が、秩父山地の実験林で測定された1例を除き、これらの山岳において同日に雲が存在したことは直接確認されておらず、各地の空港におけるシーロメータ（雲底高度計）および茨城県つくば市での高層ゾンデの観測データから間接的にその存在が報告されるのみである。

事故から相当の期間が過ぎ、当時の状況を示す新たなデータを探すことは困難と思われたが、全く別の目的のために収集されたデータを再利用できる可能性を本研究では見出した。事故の約1年前である2010年、ある携帯電話会社が全国に配置した電波中継塔を利用して環境センサーのネットワークの構築を開始し、うち一部には花粉検出用のセンサーが設置されていた。花粉センサーは基本的には光学式パーティクルカウンターであり、粒子による散乱光の偏光成分を利用して花粉を判別していることから、データ処理により水滴を判別することができると予想された。すなわち、水滴（雲）がどの地点に存在していたのかを再現できる可能性があった。

一方、事故により大気中に放出された放射性ヨウ素の住民への暴露量は、限られた観測データおよび大気輸送拡散モデル（Atmospheric Transport and Dispersion Models: ATDMs）の計算結果を用いて推定されてきた。大気化学反応と沈着速度は化学形態に依存するため、ATDMsの放射性ヨウ素は、 I_2 、 CH_3I および粒子状ヨウ素に区分された。ヨウ素分子は日射下速やかに光分解（寿命約10 s）することから、ATDMs内で I_2 として扱われている物質は、実際にはヨウ素分子だけでなく、その大気反応生成物を含む。本研究ではこれを I_2^{model} と記し、ヨウ素分子 I_2 と区別する。

ATDMsでは、 I_2^{model} の乾性沈着速度は一定値（たとえば 0.3 cm s^{-1} ）または二酸化硫黄 SO_2 に等しいと仮定されている。根拠となる野外実験や観測の多くが日射下実施されたため、これらは I_2^{model} の乾性沈着速度に相当し、また植生の気孔による取込を含む。一方、 I_2 の乾性沈着は夜間に限定されることから、植生の気孔による取込は有意でない。 I_2 と I_2^{model} の乾性沈着速度の違いはATDMsで考慮されていないが、もし両者が大きく異なるなら、夜間に放出された I_2 の乾性沈着について日の出の前後で区別した評価が必要になる可能性がある。

2. 研究の目的

【雲水沈着メカニズム】NTTドコモ社が有料サービス用のデータを収集するため展開した環境センサーネットワークでは、温度計、湿度計、雨量計、風速計のほか花粉計測用のセンサーが含まれていた。本研究の目的は、このデータから事故時の山岳地帯における雲の存在およびその高度を示すことにある。さらに、取得した雲粒データから汚染域形成に果たす雲水沈着過程の役割を検討し、想定される沈着過程を提示する。

【分子状ヨウ素沈着】 I_2 と I_2^{model} の区別の必要性を評価するために、 I_2 の地表面抵抗の推定に資する室内実験データを提供することを目的とする。具体的には、相対湿度20–80%下、粘土鉱物による I_2 の取込速度を室内実験で決定し、 I_2 と I_2^{model} の地表面抵抗の差を推定する。

3. 研究の方法

【雲水沈着メカニズム】花粉センサー（PS3, 神栄テクノロジー）の吸入口から吸引された粒子は、検出領域においてダイオードレーザーから照射された光を散乱し、光散乱角 60° の位置に設置された2個の検出器で散乱光が検出される。検出器No.2の前には偏光フィルターが設置され、光源の偏光面に対して垂直に偏光した散乱光を通過させる。検出器からの最大信号電圧（検出器No.1

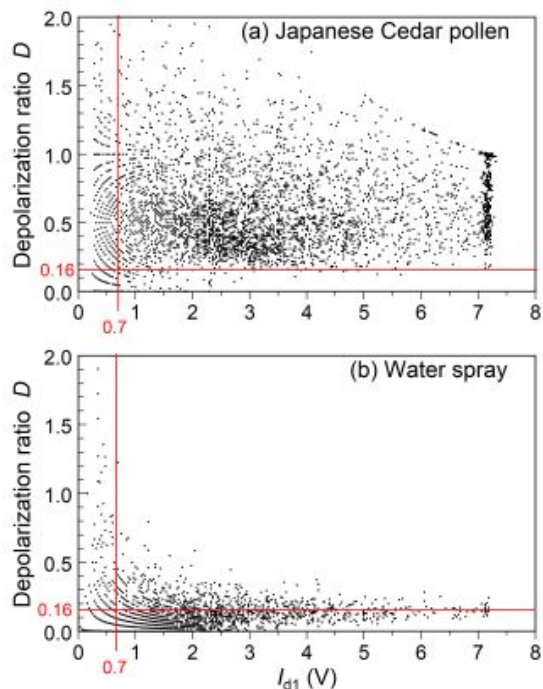


図1 PS3センサーを(a)スギ花粉を乾燥空気を導入し懸濁させた小型チャンバー、および(b)水滴を噴霧している低温室、において稼働し得られた非偏光側センサー出力 I_{d1} と偏光解消度 D の散布図。Adapted with permission from Kaneyasu, N.; Kutsuna, S.; Iida, K.; Sanada, Y.; Tajiri, T., Cloudwater deposition process of radionuclides based on water droplets retrieved from pollen sensor data, Environmental Science and Technology, 2022. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c02051>. Copyright 2022 American Chemical Society.

を I_{d1} 、検出器 2 を I_{d2-pf} と表記) は 7.5V であり、 I_{d1} がメーカー設定の閾値 0.3V を超えると粒子が検出される。

散乱光の偏光状態を評価するため、検出器の出力を用いて偏光解消度 D を以下のように定義した。

$$D = I_{d2-pf} / I_{d1}$$

この定義は、ライダーによる大気エアロゾルの測定で用いられる後方散乱偏光解消度と類似のものとしたが、厳密には異なるものであることに注意が必要である。検出粒子が均一な球形であるとき、偏光解消度 D は理論的にはゼロに近い値をとることになるが、実際にはどのような出力が得られるかについて、実験により水滴を識別する閾値を決定した(図 1)。スギ花粉(ヤミゾ花粉研究所)を乾燥空気により導入し懸濁させた小型チャンバー、および気象研究所の低温室の中でそれぞれ PS3 を運用し、その出力を記録した。スギ花粉およびネブライザー噴霧した水滴のそれぞれについて I_{d1} と D の散布図から、スギ花粉の D はおおむね 0.16 以上であるのに対し、ネブライザーによる水滴の D は 0.3 未満であった。ただし、スギ花粉では I_{d1} が小さい領域において 0 に近い値の D を示すプロットが一定数存在する。そこで本研究では、水滴とスギ花粉を識別するための実用的な閾値として、 $D < 0.16$ かつ $I_{d1} > 0.7$ である検出粒子を水滴と判定すると設定した。

【分子状ヨウ素沈着】 粘土鉱物粒子試料として、illite、allophane、montmorillonite、kaolinite、halloysite (岩本鉱産物商会) AgroMAT AG-1 (GLサイエンス) を用いた。また、水溶液試料として、イオン交換水、硫酸水溶液、アスコルビン酸(ASC)水溶液を用いた。実験系の詳細は文献³⁾ に記述されるものである。 I_2 濃度を矩形パルス状に変化させながら、 I_2 と試料を接触させた時の I_2 濃度の経時変化を観察し、試料への I_2 取込速度を消失と吸着を区別して評価した。評価には、PTFE 製円筒型接触容器 (内容積 0.39 dm³) と広帯域キャピティ増幅法 (IBBCEAS) による測定系等で構成する矩形パルス実験装置を用いた。 I_2 試料ガスは、粉末試料から昇華した I_2 を含む air (原料ガス) を所定湿度の加湿 air (流速 7×10^{-3} dm³ s⁻¹、CO₂ を 400 ppmv 含む) にシリンジポンプを用いて矩形パルス状に添加して調製した。原料ガスの I_2 濃度は、ガスを NaOH 水溶液で捕集し、I⁻ および IO₃⁻ 濃度をイオンクロマトで定量して算出し、さらにシリンジポンプと加湿 air の流量比から、試料ガスの I_2 濃度 P_0 を 4×10^{-7} atm (パルス間隔 300 s) と決定した。実験では、試料ガスの I_2 パルス濃度 P_{in} を P_0 または $0.5P_0$ とした。

4. 研究成果

【雲水沈着メカニズム】

(1) 水滴カウント数の多い地点での測定値

福島県・栃木県・群馬県に配備された 72 地点の花粉センサーのデータを解析した結果、3 月 15 日の午後、いくつかの山地で濃い雲が発生していたことが判明した。そのうち、標高の高い山の斜面にある丸沼高原サイト (標高 1401 m) と奥塩原サイト (1000 m) では、14~16 時に水滴数が急増し、1000 h⁻¹ 以上のカウント値が夜半まで計測された(図 2 上段)。また、他に高い雲粒カウントを記録した地点として、田島サイト (861 m) と伊南サイト (700 m) があったが、両地点とも福島県の南会津地方に位置する。福島県会津若松にある気象庁若松特別地域気象観測所で測定された持上げ凝結高度 (Lifted Condensation Level: LCL) より、会津地方の空気が太平洋側にある宇都宮地方気象台や白河特別地域気象観測所より低いものであったことがわかる(図 2 下段)。

(2) 水滴カウント・データのマッピング

2012 年 6 月 28 日の航空機観測で得られた ¹³⁷Cs 地表沈着量の分布²⁾ に、本研究による 1 時間毎の水滴カウント数を重ね合わせた結果

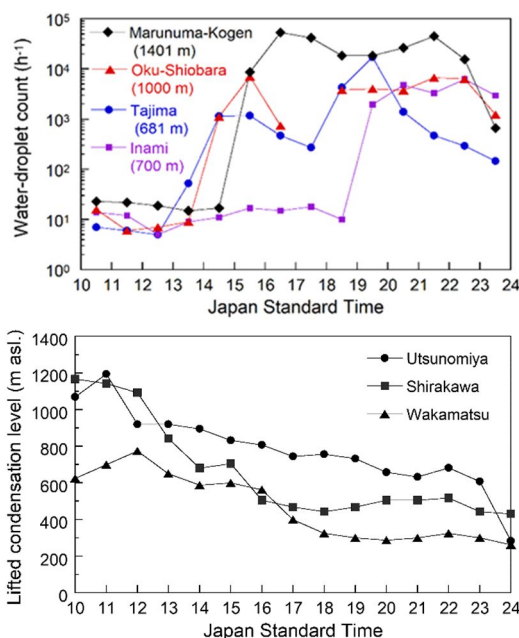


図 2 (上段) 2011 年 3 月 15 日に 最大 1000 h⁻¹ を超える高い数濃度を示す水滴カウントを記録したサイトにおけるカウントの経時変化。(下段) 宇都宮、白河、若松特別気象観測局で測定された 2011 年 3 月 15 日の持上げ凝結高度の経時変化。Adapted with permission from Kaneyasu, N.; Kutsuna, S.; Iida, K.; Sanada, Y.; Tajiri, T., Cloudwater deposition process of radionuclides based on water droplets retrieved from pollen sensor data, Environmental Science and Technology, 2022. <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c02051>. Copyright 2022 American Chemical Society.

(14~19時)をマッピングすると、水滴カウントが多い(1,000 h⁻¹以上)センサー地点は標高約680 m以上の山岳域に位置している。これらの地点における毎時の水滴カウントは他の地点より1桁以上多く、これらの地点は、雲底付近より上方、すなわち雲層の中ほどの高度に位置していたことがわかる。また、¹³⁷Cs 高沈着領域のマップとの比較により、汚染領域の外側または端付近に位置していた。水滴が高い数濃度で測定された地点と¹³⁷Cs 汚染地域が一致しない結果は、雲水沈着が山岳地帯の表面汚染のメカニズムとして作用するとの仮説¹⁾⁻²⁾と一見矛盾するようである。しかし、先行研究において報告されてきた雲水中の溶質濃度の鉛直勾配、すなわち雲層中部の雲水中の溶質濃度は雲底付近のそれよりも低いとの観測結果を考慮すると、本研究での雲粒カウントの結果は雲水沈着仮説に矛盾しない。放射性核種は硫酸塩のような水溶性のエアロゾルに含まれた形か、あるいは付着した状態で雲凝結核(Cloud Condensation Nuclei: CCN)の一部として雲水に取り込まれたものと考えられるが、このように、雲底から高い位置にある雲層の雲粒では雲水中の溶質濃度が低くなるなら、雲水中の放射性核種も、雲底より高い位置のある雲粒中での濃度は低くなると想定される。

一方、比較的高い濃度で¹³⁷Cs 地表面沈着が測定された赤城温泉サイト(標高842 m, 38.0 kBq m⁻²)では、14~18時の間の連続した時間帯に25~500 h⁻¹と中程度の水滴カウントを記録している。また、赤城温泉、那須高原(標高631 m, 57.7 kBq m⁻²)、岳東(標高568 m, 64.6 kBq m⁻²)の各サイトにおける水滴カウントの時系列を比較すると、赤城温泉サイトでは15~16時に100 h⁻¹を超える水滴が測定され、その2時間後に那須高原と岳東で同程度のカウント数が記録された。¹³⁷Cs 汚染域に位置するこれらのセンサー地点での雲粒カウント数はいずれも10² h⁻¹程度であり、前述の高い水滴濃度の地点との比較から、これらの中程度カウントのサイトは雲底付近に位置していたと解釈される。さらに、宇都宮におけるシーロメータで観測された15日午後の雲底の下降傾向およびLCLの時間的な低下から、標高約570~840 mの各センサー地点では、下降しつつある雲底が15~18時に通過したものとみられる。

以上の結果をもとに、山岳域で特定の高度帯に集中した放射能汚染を発生させた沈着メカニズムとして、以下のようなプロセスが考えられた。水溶性エアロゾルに含まれる放射性核種が上昇し、LCLに相当する高度でCCNが活性化して雲粒を形成したが、ブルーム中に含まれた放射性エアロゾルの量は限られており、雲の鉛直全層にわたって雲粒を汚染するには至らなかった。すなわち、放射能汚染された雲粒は雲底付近に高い濃度で局在しており、雲水沈着による地表汚染の発生も雲底と山の斜面との接触線に沿って局所的に生じると推定される。この接触線が雲底の下降に伴って下方に移動するとともに、山の斜面に沿った形で地表汚染地帯が形成される。一方、雲底より上方にある雲の中層では雲粒の数密度が高く、地表汚染はあまり見られなかった。雲水沈着に関する本研究成果の詳細は文献⁴⁾に纏められている。

【分子状ヨウ素沈着】

(3) 容器への吸着

P_0 に対する I_2 濃度の比を $x_m(t)$ とし、blank実験(試料なし)の $x_m(t)$ を約30分間観察した。 I_2 が容器に可逆吸着し、吸着量は湿度が高いほど大きいことがわかった。また、一部の I_2 は消失し、消失量は湿度が高いほど大きかった。試料ガスに400 ppmv CO_2 を共存させることにより、再現性よい結果を得た。Freundlichの吸着式を含むシミュレーション計算により、各湿度において P_{in} が P_0 または $0.5P_0$ の $x_m(t)$ を同時に再現する吸着平衡定数等のパラメータを決定し、以下の実験結果のシミュレーション計算に適用した。

(4) 水溶液試料への取込み

I_2 の水への取込みはASCへの取込みより明白に小さかった。水と硫酸の $x_m(t)$ がほぼ等しいことから、水表面が非解離の I_2 で飽和して水への I_2 の取込みが水中の I_2 拡散速度に支配されるためと推定した。ASCでは I_2 がIに還元されるため取込み速度が大きい。矩形パルス導入中の $x_m(t)$ の波形を解析し、みかけの取込み速度 $U(t)$ 、取込み速度定数 $k_{1-a}(t)$ 、沈着速度 $k_{g-a}(t)$ を算出した。ASCの $k_{g-a}(t)$ から求めたみかけの表面抵抗 120 s m^{-1} は、文献値との比較および1 mMと10 mM ASCで取込み速度が同じであることから、気相境膜抵抗 R_{g-a-w} に相当すると推定した。粘土鉱物試料の表面抵抗の算出において、 R_{g-a-w} は気相境膜抵抗として利用した。

(5) 粘土鉱物試料への取込み

湿度80%下、粘土鉱物試料と接触時の $x_m(t)$ は、ブランクより明白に小さいこと、また、接触面積が大きいほど小さいことから、 I_2 が粘土鉱物に取込まれ気相から除去されることを確認した(図3)。湿度20%、50%でも同様に取込みを確認した。

同一の粘土鉱物試料に対し、繰返し実験を行った(run 1~8; 奇数と偶数番目のrunの P_{in} はそれぞれ P_0 、 $0.5P_0$ に設定)ところ、実験を繰り返すと I_2 消失率が減少するが、減少は始めが最大で、その後減少は小さくなり、 I_2 消失はrun 8で有意に進行した。 $x_m(t)$ の波形を解析し、run数が大きくなると、 I_2 消失量は減少するが I_2 吸着量が増加すること、その結果両者の和はあまり変化しないことがわかった。これから、粘土鉱物上の I_2 消失の活性点には、 I_2 消失に伴い失活するも

のとなしいものがあることが示唆された。消失率は粘土鉱物間で異なるが、その差は BET 表面積の差と比較して小さかった。湿度依存性は粘土鉱物の種類により異なった。allophane 等で、特に run 数が多い場合、湿度が高いと消失率が小さくなる傾向がみられ、この傾向は SO_2 と異なる。水溶液試料と同様に矩形パルス導入中の $x_m(t)$ の波形を解析し、 $U(t)$ 、 $k_{1-a}(t)$ 、 $k_{g-a}(t)$ を算出してみかけの沈着速度 R_{g-a} を推定した。さらに、気相境膜抵抗を R_{g-a-w} に等しいと仮定し、粘土鉱物の表面抵抗 $R_{g-a-clay}$ を推定した (図 4)。

しかし、 P_{in} が P_0 と $0.5P_0$ の場合で R_{g-a} に系統的な差がみられること等から、 R_{g-a} は表面抵抗が反応の進行により増大することを十分反映していないことがわかった。そこで、2 段階スキーム (表面への速やかな吸着と表面と細孔間の遅い移動) を仮定してシミュレーション計算を行い、連続する run 1-5 の $x_m(t)$ を再現する関連パラメータを決定した。シミュレーションでは、 I_2 消失は表面と細孔の活性点 (2 種類の活性点) で進行し、前者は I_2 消失により失活するが、後者は失活しないと仮定した。環境中のように極低濃度の I_2 の場合について、シミュレーションで決定したパラメータを用いて表面抵抗 R_{g-clay} を、 $k_{1s}(t)$ が k_{1s0} または 0 の場合について推定した (図 4)。ここで、 $k_{1s}(t)$ と k_{1s0} はシミュレーションに用いた I_2 消失の速度定数を表すパラメータであり、 k_{1s0} はフレッシュな粘土鉱物の速度定数である。

フレッシュな粘土鉱物の R_{g-clay} ($R_{g-clay-0}$ とする) は、ATDMs の芝・草本への R_g の SO_2 の参照値 (200 s m^{-1}) より小さかった。一方、表面活性点が失活した ($k_{1s}(t)=0$) 粘土鉱物の R_{g-clay} はこの参照値より大きく、 $241\text{--}666 \text{ s m}^{-1}$ であり、乾性沈着が地表面抵抗で支配される場合、沈着速度 $0.15\text{--}0.41 \text{ cm s}^{-1}$ に相当した。環境中では、自然起源の I_2 や他の大気成分との反応が進行するので、粘土鉱物の表面の活性点は失活していると仮定し、 $R_{g-clay-0}$ でない、 $R_{g-clay} = 241\text{--}666 \text{ s m}^{-1}$ を用いて地表面抵抗を推定した。

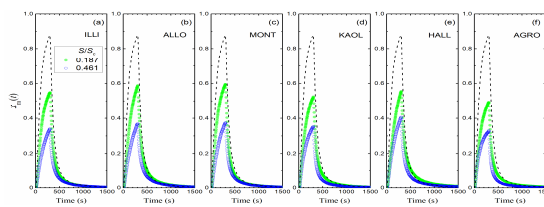


図 3 相対湿度 80% 下、粘土鉱物試料と接触時の $x_m(t)$ 。 $S/S_0 = 0.187$ (—), 0.461 (---), $P_{in} = P_0$ 。鎖線はブランクを示す。

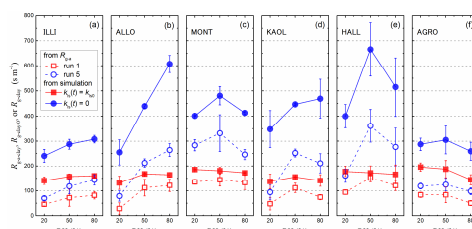


図 4 各粘土鉱物上の $R_{g-a-clay}$ (—, ○) とシミュレーション計算結果を用いて決定した R_{g-clay} (—, □)。赤はフレッシュな粘土鉱物、青は活性が低下した粘土鉱物の値。

(6) 気孔によらない地表面抵抗の推定

I_2 の乾性沈着は夜間に限定されるので、気孔によらない地表面抵抗 R_{ns} を芝・草本、常緑広葉樹、落葉広葉樹の 3 種類の土地利用形態 (LUC) について文献⁵⁾の方法に従い計算した。 R_{g-clay} を用いて計算した R_{ns} を $R_{ns-RgI2}$ 、 SO_2 の R_g の参照値を用いた計算値を R_{ns-SO2} とし、 $R_{ns-RgI2}/R_{ns-SO2}$ の風速 (高度 10 m における値) に対する依存性を調べた。計算では各 LUC の粗度の参照値を用いて摩擦速度と風速を関係づけ、葉面積インデックスは 3 月の参照値を用いた。 $R_{ns-RgI2}/R_{ns-SO2}$ は、いずれの場合も 1 より大きく、80%RH では 1.3 以下であるが、湿度が低くなると大きくなり、20%RH では風速 10 m s^{-1} で 1.8 以下になった。また、 R_{g-clay} として AgroMAT AG-1 の値を用いた場合、 $R_{ns-RgI2}/R_{ns-SO2}$ は、80%RH では 1.2 未満、20%RH で 1.6 以下である。以上のように、 I_2 の地表面抵抗として SO_2 の値を利用することは、80%RH では有効だが、20%RH で風速が大きい場合に大きな誤差を与える可能性がある。これは、夜間に I_2 が放出された場合、 I_2^{model} の乾性沈着について、湿度が低く、風が強い場合は、日の出の前後で区別した評価が必要になる可能性を示唆している。分子状ヨウ素沈着に関する本研究成果の詳細は文献³⁾に纏められている。

<参考文献>

- 1) Hososhima, M.; Kaneyasu, N., *Environ. Sci. Technol.* **2015**, 49 (6), 3341-3348.
- 2) Sanada, Y.; Katata, G.; Kaneyasu, N.; Nakanishi, C.; Urabe, Y.; Nishizawa, Y., *Sci. Total Environ.* **2018**, 618, 881-890.
- 3) Kutsuna, S.; Kaneyasu, N., *Environ. Sci.: Atmos.* **2022**, 2, 1041-1059.
- 4) Kaneyasu, N.; Kutsuna, S.; Iida, K.; Sanada, Y.; Tajiri, T., *Environ. Sci. Technol.* **2022**, 56, 12036-12044.
- 5) Zhang, L.; Brook, J. R.; Vet, R., *Atmos. Chem. Phys.* **2003**, 3 (6), 2067-2082.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Kutsuna Shuzo, Kaneyasu Naoki	4. 巻 239
2. 論文標題 Henry's law constants and hydration equilibrium constants of n-hexanal and their temperature dependence as determined by the rectangular pulse method	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Chemical Engineering Science	6. 最初と最後の頁 116639 - 116639
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.ces.2021.116639	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kutsuna Shuzo, Kaneyasu Naoki	4. 巻 2
2. 論文標題 Laboratory study on uptake of gaseous molecular Iodine by clay minerals at different relative humidity	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Environmental Science: Atmospheres	6. 最初と最後の頁 1041 - 1059
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1039/D2EA00039C	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Kaneyasu Naoki, Kutsuna Shuzo, Iida Kenjiro, Sanada Yukihisa, Tajiri Takuya	4. 巻 56
2. 論文標題 Cloudwater Deposition Process of Radionuclides Based on Water Droplets Retrieved from Pollen Sensor Data	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Environmental Science and Technology	6. 最初と最後の頁 12036 - 12044
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.est.2c02051	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 1件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Naoki Kaneyasu
2. 発表標題 Detection of cloud droplets or fog by a polarization optical counting sensor: Circumstantial evidence for cloudwater deposition of radionuclides in mountainous areas of Japan during the Fukushima nuclear accident
3. 学会等名 The 8th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, Taipei, Taiwan（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 忽那周三、兼保直樹
2. 発表標題 ヨウ素分子I ₂ の乾性沈着地表面抵抗の評価（室内実験）
3. 学会等名 第60回大気環境学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 忽那周三、兼保直樹
2. 発表標題 ヘキサナールのヘンリー定数と水和反応平衡定数の決定
3. 学会等名 第60回大気環境学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 忽那周三、兼保直樹
2. 発表標題 土壌成分によるヨウ素分子蒸気の取り込み速度とその湿度依存性（矩形パルス法実験）
3. 学会等名 日本化学会第100春季年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 忽那周三、兼保直樹
2. 発表標題 慣性沈着表面抵抗スケール係数の評価 矩形パルス法の利用
3. 学会等名 第59回大域環境学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 兼保直樹、忽那周三、古田泰子
2. 発表標題 花粉センサー・データを利用した接地雲(霧)の検出 - 福島事故起源の放射性核種沈着メカニズムとして -
3. 学会等名 2018日本気象学会2018年度秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 兼保直樹、忽那周三
2. 発表標題 分子状ヨウ素の乾性沈着速度のラボ実験
3. 学会等名 第61回大気環境学会年会 放射性物質動態分科会（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	忽那 周三 (Kutsuna Shuzo) (60344131)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・エネルギー・環境領域・上級主任研究員 (82626)	研究期間の途中で削除を承認された。所属、部局、職名は削除の事実発生日時点のもの。

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------