

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 18 日現在

機関番号：23201

研究種目：基盤研究（B）一般

研究期間：2010 年度～2012 年度

課題番号：22310022

研究課題名（和文）バックグラウンド黄砂の動態と高所における大気液相化学および植生への影響評価

研究課題名（英文）Behavior of background KOSA and its influence on the chemistry of atmospheric liquid phase and vegetation at a high elevation

研究代表者

渡辺 幸一（WATANABE KOICHI）

富山県立大学・工学部・准教授

研究者番号：70352789

研究成果の概要（和文）：高所に出現する弱い黄砂（バックグラウンド黄砂）の動態やその自然環境へ及ぼす影響を評価するため、立山において、エアロゾル粒子、微量気体成分、降水、霧水、積雪などの観測・分析を行うと共に、植生への影響について検討した。年度による程度の違いはあるものの、毎年秋期に「バックグラウンド黄砂」の影響がみられることがわかった。立山山の植生は、大気汚染物質だけでなく、黄砂粒子の影響も大きく受けている可能性が示唆された。また、立山での観測と並行して、回転翼航空機による富山県上空大気観測も行った。観測結果から、高所では高濃度の光化学オキシダント物質に植生が晒させやすいと考えられる。

研究成果の概要（英文）：To elucidate the behavior of background Kosa and its influence on natural environment, observations and analysis of aerosol particles, trace gases, precipitation, fog and dew water and snow cover were performed at Mt. Tateyama. Background Kosa is seen every autumn at a high elevation. Vegetation may be highly affected by air pollution and Kosa particles. Atmospheric observations over Toyama Prefecture were also performed using a helicopter. Vegetation may be exposed to high photochemical oxidants at a high elevation site.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010 年度	6,500,000	1,950,000	8,450,000
2011 年度	3,700,000	1,110,000	4,810,000
2012 年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
年度			
年度			
総計	14,300,000	4,290,000	18,590,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：環境学、環境影響評価・環境政策

キーワード：陸圏・水圏・大気圏影響評価、生態系影響評価

1. 研究開始当初の背景

黄砂現象は、日本では古くから春の風物詩としてなじみが深い。アジア大陸から輸送されてくる黄砂粒子は、放射特性に影響を与えるだけでなく、大気組成や降水・雲水の化学成分にも大きな影響を与えている。地上付近において黄砂現象が観測されていない場

合でも、上空の自由大気中では黄砂層が観測される場合があり「弱い黄砂」あるいは「バックグラウンド黄砂」として認識されている。最近の航空機観測から、夏期の中部日本上空に広く存在する「バックグラウンド黄砂」が確認され、大気環境へ何らかの影響を与えてきたものと考えられる。特に山岳域において

はその影響を受けやすく、また、その生態系も大気環境変化の影響を受けやすいと考えられる。大黃砂が観測される春期では、高山帯は多量の積雪に覆われている。そのため、山岳域での大気液相や植生への直接的な影響は、夏期や秋期の「バックグラウンド黄砂」の方がより重要となる。しかしながら、「バックグラウンド黄砂」の観測頻度・出現高度や起源、高所での大気環境や植生への影響など多くの点が不明である。さらに、高濃度の光化学オキシダントや硫酸エアロゾルなどの広域大気汚染物質との複合作用についてはほとんど影響評価されていない。

2. 研究の目的

夏期や秋期に出現する「バックグラウンド黄砂」は、山岳域のような高所において、大気液相化学や植生へ直接的に影響を与えていると考えられるが、その影響については不明である。また、起源について詳しく検討された例はほとんどない。本研究では、「バックグラウンド黄砂」の鉛直・空間的分布を把握するとともに、越境・広域汚染の影響を大きく受ける立山の高所において、エアロゾル粒子、霧水・降水・露水などの成分測定、同位体地球化学的解析や地表への負荷解析等を行い、「バックグラウンド黄砂」の起源、大気液相化学や植生に与える影響等について明らかにすることを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 霧水・降水・露水および生態系影響

夏期から秋期にかけて立山西側斜面の室堂平 (2450m)、美女平 (977m) において細線式パッシブサンプラーによって霧水を採取し、化学分析を行った。降水試料については、これらの3地点の他に、美松坂 (2110m)、弘法平 (1630m)、上ノ小平 (1430m)、桂台 (650m) においてもバルク採取した。霧水・降水試料はおおよそ1週間毎に回収し、pH (電極法) や主要イオン (イオンクロマトグラフ法) の測定を行った。9月には室堂平で集中観測を実施し、2~3時間間隔での霧水・降水・露水の採取も行った。集中観測期間中には過酸化物質やアルデヒド類の測定も行った。また、立山山頂付近 (浄土平) のハイマツ林での樹幹流、林内雨、霧水等の採取・分析や、立山の数地点において樹幹流、林内雨の採取・分析も行い、物質動態や植生影響について考察した。

(2) エアロゾル粒子と微量気体成分

夏期から秋期を中心として、立山・美女平において、オゾン (O_3)、窒素酸化物 (NO_x)、二酸化硫黄 (SO_2) 濃度、パーティクルカウンター (OPC) による5段階粒径別エアロゾル粒子個数濃度、サルフェイトモニターによる

硫酸エアロゾル濃度および走査式パーティクルサイザー (SMPS) による超微小~微小粒子粒径分布の計測を行った。OPCによるエアロゾル粒子個数濃度の測定は弥陀ヶ原 (1930m、弥陀ヶ原ホテルに設置) においても行い、高所での「バックグラウンド黄砂」の出現状況について考察した。

(3) 積雪断面観測

夏期や秋期の観測結果との比較のために、4月の室堂平において積雪の断面観測、試料採取を行った。積雪試料は融解させずに大学へ持ち帰り冷凍保存した。一週間以内に、(試料を融解させた直後に) 過酸化物質濃度やホルムアルデヒドの測定を行い、後に、主要イオン濃度の測定を行った。また、一部の試料については、総合地球環境学研究所において、ストロンチウム同位体比 ($^{87}Sr / ^{86}Sr$) の測定を行った。

(4) 回転翼航空機観測

立山での観測と並行して、小型ヘリコプターを利用した上空大気観測を行った。オゾン、窒素酸化物、二酸化硫黄濃度やパーティクルカウンターによるエアロゾル粒子個数濃度の自動計測を行いながら、高度別に過酸化物質やアルデヒド類の試料採取を行った。ヘリコプターを利用することにより、上空で採取した試料を直ちに大学へ輸送し、速やかに高速液体クロマトグラフ (HPLC) 法で分析することができ、高精度の過酸化物質の測定が可能となった。

4. 研究成果

(1) 霧水・降水・露水

9月の立山・室堂平 (2450m) で採取した霧水や露水 (夜露) 中には高濃度の過酸化水素が観測された。比較的高濃度のアルデヒド類も検出されたが、ほとんどがホルムアルデヒドであった。露水中の過酸化水素濃度は、これまで平地 (低地) で測定されてきた濃度よりも一桁以上高く、高所においては夜露中に高濃度の過酸化水素が取り込まれているものと考えられる。植生への毒性も懸念される。

図1に2012年秋期の立山における降水中の非海塩性カルシウムイオン濃度の鉛直分布を示す。2012年の観測では標高2305m、1930mおよび1420mの地点で非海塩性カルシウムイオン濃度が増加していた。このような特定高度での増加現象は、他の年度でも観測されたが、濃度のピークがみられる標高は異なっていた。

図2に2011年夏期から秋期の立山における土壌 (黄砂) 粒子と黒色炭素系粒子の沈着量の鉛直分布を示す。土壌粒子は標高1420m地点で沈着量が多く、黒色物質は標高650mと1420m~1620mにかけて沈着量が多かった。

いずれの値も富山市市街地よりも沈着量は多かった。

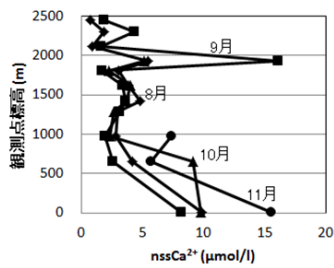


図1 2012年秋期の立山における降水中の非海塩性カルシウムイオン濃度の鉛直分布

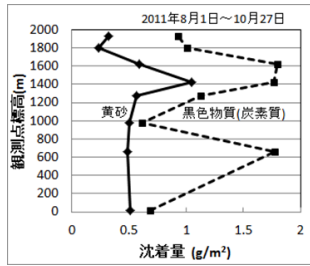


図2 2011年夏期から秋期の立山における土壌粒子と黒色炭素系粒子の沈着量の鉛直分布

立山では、標高が高くなるにつれ、降水中の酸性物質の濃度は低下したが降水量は増加した。そのため、自動車の排ガスや工場など人為による汚染源から離れた山岳域においても富山市(都市部)と同程度の酸性沈着量があった。また、夏から秋にかけての観測において、湿性沈着中の主要イオン成分であり、黄砂などに多く含まれているカルシウムイオン濃度が特異的に高くなる事があった。流跡線解析やその他の観測結果から考えて、大陸から土壌粒子が飛来し、雨や霧などの湿性沈着に影響を与えている事が明らかになった。

(2) エアロゾル粒子と微量気体成分

立山・美女平(977m)における O_3 、 SO_2 濃度、硫酸塩濃度、粒径別エアロゾル粒子個数濃度の時系列変化(2010年秋期)を図3に示す。硫酸塩粒子は、微小粒子($> 0.3 \mu m$)個数濃度と概ね(数日から数十日程度の)類似した変化を示したが、日変化においては異なる変動がみられた。また、硫酸塩粒子の増加と共に、 SO_2 や O_3 濃度も急増する現象がしばしば観測され(例えば、10月18日、11月8日、11月12日)、大気汚染物質が立山へ輸送されていたものと考えられる。

2010年11月12~14日には、粗大粒子($> 2.0 \mu m$)個数濃度が高くなっており、九州地方から中部日本一帯で広く観測された黄砂の影響と考えられる。11月12日には、硫酸塩粒子や微小粒子個数濃度も(SO_2 や O_3 も)急増したが、硫酸塩粒子濃度などが減少した13

日0時頃に粗大粒子数の極大が観測された(図3)。大気汚染物質がアジア大陸から長距離輸送された後に、黄砂粒子が運ばれてきたものと考えられる。

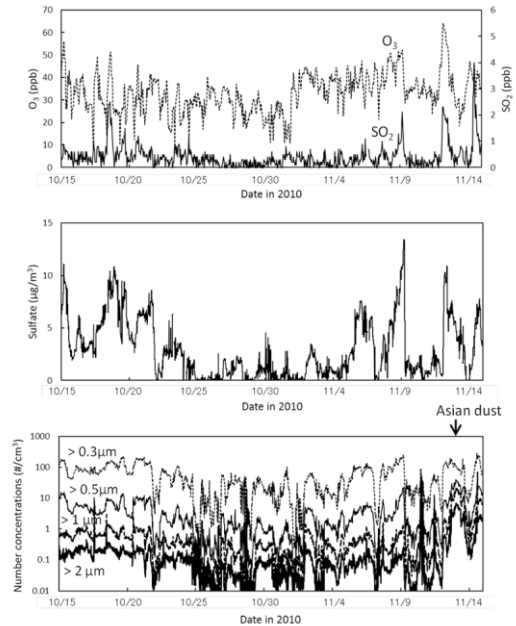


図3 立山・美女平(977m)におけるオゾン、二酸化硫黄濃度、硫酸塩濃度、粒径別エアロゾル粒子個数濃度の時系列変化(2010年秋期)

図4に秋期の立山・弥陀ヶ原(1930m)における粒径別エアロゾル粒子個数濃度の時系列変化(2009, 2011年)を示す。2009年10月後半以降に粗大粒子個数濃度が高く、黄砂粒子が頻りに輸送されていたものと考えられる。また、2011年10月11日頃にも粗大粒子個数濃度が上昇しており、黄砂粒子の影響が考えられる、年度による程度の違いがあるものの「バックグラウンド黄砂」は高所の自然環境へ大きく寄与している可能性が考えられる。

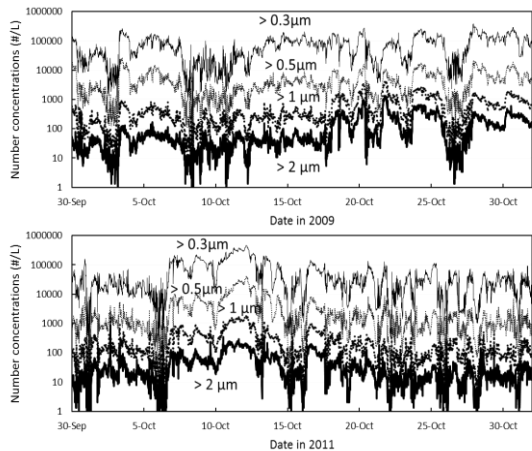


図4 秋期の立山・弥陀ヶ原(1930m)における粒径別エアロゾル粒子個数濃度の時系列変化(2009, 2011年)

(3) 積雪断面観測

4月の立山・室堂平で積雪断面観測、積雪試料の化学分析を行った結果、春期に堆積した層に何層かの汚れ層や、冬期から春期にかけてのカルシウム濃度の増加などが観測された。カルシウムイオン濃度が高い層は目視で観測された汚れ層と良い一致をしており、黄砂粒子によるものである。

カルシウムイオン濃度が高い層については、硫酸イオンも高濃度となっている場合が多く、黄砂粒子が汚染物質と共に輸送されてきているものと考えられる。また、硫酸イオン濃度やカルシウムイオン濃度が高かった試料についてはホルムアルデヒド濃度も比較的高く、アルデヒド類のような光化学生成物（あるいはその前駆物質）も同時に輸送されてきている可能性が考えられる。

カルシウムイオンが高濃度であった試料についてストロンチウム同位体比 ($^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$) を測定した結果、アジア大陸乾燥地域土壤の炭酸塩中の同位体比と良い一致をしていた。

(4) 回転翼航空機観測

図5に、2010年8月23日および2011年6月7日における富山県上空の過酸化水素 (H_2O_2)、ホルムアルデヒド (HCHO)、アセトアルデヒド (CH_3CHO) 濃度の鉛直プロファイルを示す。二酸化硫黄や窒素酸化物のような一次汚染物質は、地表付近で濃度が高く、上空で低濃度となった。過酸化水素は上空で高くなる傾向がみられたが、2010年8月の観測では大気境界層の上部で高濃度であったのに対し、2011年6月については、高度2000 ftより上空での濃度変化が小さかった。

オゾン濃度については、午前中は過酸化水素と同様に大気境界層上端部で高濃度であったが、午後については濃度の高度変化が小さかった。2011年6月7日においてもオゾン濃度の高度変化は小さかった。地上付近においては、アルデヒド類、過酸化水素、オゾンは午後に濃度が上昇し、光化学生成によるものと考えられる。また、高度4000 ftを境に、過酸化水素と二酸化硫黄の濃度関係が逆転し、上層部では過酸化水素濃度の方が高く、二酸化硫黄の潜在的な酸化能力が十分であるものと考えられる。なお、ヘリコプターでの観測期間中には黄砂現象は観測されなかった。

(5) 生態系影響

立山頂付近のハイマツ群落への降水のうち、約20%がハイマツ樹冠によって遮断されていた。また、霧水沈着量が増加すると、樹冠通過雨量が増えることや、水のH-O同位体比分析の結果より、樹冠通過雨量に霧水が大

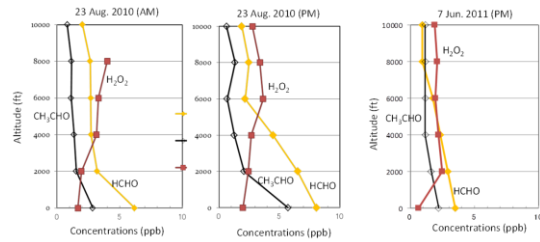


図5 2010年8月23日および2011年6月7日における富山県上空の過酸化水素 (H_2O_2)、ホルムアルデヒド (HCHO)、アセトアルデヒド (CH_3CHO) 濃度の鉛直プロファイル

きく寄与していることが示唆された。ハイマツ群落は、強い降雨を効率的に遮断し、結果的に土壌流失を防ぐ一方で、降雨が多い・少ないに関わらず高い頻度で発生する霧を効率的に取り込んで林床に供給していることが示唆された。

立山・浄土平では、平野部と同程度の酸性沈着量があったが、ハイマツは、樹冠から降水や霧水中の窒素酸化物である硝酸態窒素及びアンモニア態窒素を吸収・保持していた事から、大気沈着に含まれる栄養分はハイマツ生態系への収入である事が明らかとなった。また、樹冠から陽イオン成分が多量に溶脱する事により、林内雨中の養分濃度が高まっている事が示唆され、ハイマツ樹冠は、地下から吸収したミネラル類を落葉枯死とは違った経路で、ハイマツ生態系内の物質循環に供給している事が明らかとなった。

ハイマツ林内雨中には、樹体から溶脱した物質が含まれているが、ストロンチウム同位体比 ($^{87}\text{Sr} / ^{86}\text{Sr}$) の値は、地下水や渓流水の値よりも、大気沈着や海塩の値に非常に近くなった。また、ハイマツの葉や枝、リターのストロンチウム同位体比の値は、土壌や岩石の値よりも、大気沈着や黄砂の値に近くなった。樹高の高い樹種ほど、ストロンチウム同位体比は黄砂の値に近く、融雪時期に、葉から直接ミネラル分を吸収している可能性が示唆された。立山のハイマツ群落や周辺の高山植物の栄養塩供給には、基岩や地下水よりも、海塩や、黄砂などの大気沈着の方が大きく寄与していることが示された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 20 件)

1. Watanabe, K., Honoki, H., Naruse, I., Endo, F., Murakami, T. and Yoshida, Y., Measurements of aerosol number concentrations, sulfate aerosols and rain water chemistry at Bijodaira, western slope of Mt. Tateyama, Japan,

- Journal of Ecotechnology Research, 15, 49-52, (2010) 査読有
2. 渡辺幸一, 江田奈希紗, 青木美貴子, ヘリコプターを利用した富山県上空の微量気体成分の観測, 天気, 第 57 巻, 77-82, (2010) 査読有
 3. Watanabe, K., Honoki, H., Iwai, A., Tomatsu, A., Noritake, K., Miyashita, N., Yamada, K., Yamada, H., Kawamura, H. and Aoki, K., Chemical characteristics of fog water at Mt. Tateyama, near the coast of the Japan Sea in central Japan, Water, Air, and Soil Pollution, 211, 379-393, (2010) 査読有
 4. 久米 篤, 渡辺幸一, 永淵 修, 朴木英治, 広域大気汚染の現状と森林生態系への影響—屋久島と立山の事例—, 日本生態学会誌, 61, 97-106, (2011) 査読有
 5. Watanabe, K., Honoki, H., Endo, F., Murakami, T., Yoshida, Y., Iida, H., Uehara, Y. and Kume, A., Number concentration and size distribution of ultrafine particles on the roadside of the Tateyama-Kurobe Alpine Route, Japan, Journal of Environmental Science and Health, Part A, 46, 921-930, (2011) 査読有
 6. Watanabe, K., Saito, Y., Tamura, S., Sakai, Y., Eda, N., Aoki, M., Kwabuchi, M., Yamada, H., Iwai, A. and Kawada, K., Chemical characteristics of the snow pits at Murododaira, Mt. Tateyama, Japan, Annals of Glaciology, 52 (58), 102-110, (2011) 査読有
 7. 岩間真治, 渡辺幸一, 上原佳敏, 西元大樹, 小森 静, 齋藤由紀子, 江田奈希紗, 善光英希, 島田 互, 青木一真, 川田邦夫, 立山・室堂平の積雪中のイオン成分, ホルムアルデヒドおよび過酸化水素濃度, 雪氷, 第 73 巻, 295-305, (2011) 査読有
 8. Watanabe, K., Honoki, H., Iwama, S., Iwatake, K., Mori, S., Nishimoto, D., Komori, S., Saito, Y., Yamada, H. and Uehara, Y., Chemical composition of fog water at Mt. Tateyama near the coast of the Japan Sea in central Japan, ERDKUNDE, 65, 233-245, (2011) 査読有
 9. 芹川裕加, 川上智規, 渡辺幸一, 山岳地における降水中水銀の測定法と水銀と同期するカルシウムや硫酸の長距離輸送, 土木学会論文集 G (環境), 67, III_735-III_740, (2011) 査読有
 10. Nakajima, H., Kume, A., Ishida, M., Omiya, T. and Mizoue, N., Evaluation of estimates of crown condition in forest monitoring: comparison between visual estimation and automated crown image analysis. Annals of Forest Science, 68, 1333-1340, (2011) 査読有
 11. Maki, T., Aoki, K., Kobayashi, F., Kakikawa, M., Tobo, Y., Matsuki, A., Hasegawa, H., Iwasaka, Y., Characterization of halotolerant and oligotrophic bacterial communities in Asian desert dust (KOSA) bioaerosol accumulated in layers of snow on Mount Tateyama, Central Japan. Aerobiologia, DOI 10.1007/s10453-011-9196-0, (2011) 査読有
 12. Tanaka, D., Tokuyama, Y., Terada, Y., Kunimochi, K., Mizumaki, C., Tamura, S., Wakabayashi, M., Aoki, K., Shimada, W., Tanaka, H. and Nakamura, S., Bacterial communities in Asian dust-containing snow layers on Mt. Tateyama, Japan. Bulletin of Glaciological Research, 29, 31-39, (2011) 査読有
 13. 牧輝弥, 青木一真, 小林史尚, 柿川真紀子, 松木篤, 木野恵太, 長谷川浩, 岩坂泰信, 立山積雪層に保存される黄砂バイオエアロゾルの集積培養と系統分類学的解析、エアロゾル研究, 26, 332-340, (2011) 査読有
 14. Maki, T., Ishikawa, A., Kobayashi, F., Kakikawa, M., Aoki, K., Matsunaga, T., Hasegawa, H. and Iwasaka, Y., Effect of Asian dust deposition event on Bacterial and microalgal communities in the Pacific Ocean. Asian Journal of Atmospheric Environment, 5, 157-163, (2011) 査読有
 15. Watanabe, K., Nishimoto, D., Ishita, S., Eda, N., Uehara, Y., Takahashi, G., Kunori, N., Kawakami, T., Shimada, W., Aoki, K. and Kawada, K., “Formaldehyde and hydrogen peroxide concentrations in the snow cover at Murododaira, Mt. Tateyama, Japan”, Bulletin of Glaciological Research, 30, 33-40, (2012) 査読有
 16. Kawamura, K., Matsumoto, K., Tachibana, E. and Aoki, K., Low molecular weight (C1-C10) monocarboxylic acids, dissolved organic carbon and major inorganic ions in alpine snow pit sequence from a high mountain site, central Japan. Atmospheric Environment, 62, 272-280, (2012) 査読有
 17. Uehara Y. and Kume A., Canopy rainfall and interception and fog capture by *Pinus pumila* Regal at MT. Tateyama in the northern Japan alps, Japan. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 44,

- 143-150 (2012) 査読有
18. 芹川裕加, 渡辺幸一, 川上智規, 三宅隆之, 立山における大気中ガス状水銀の長距離輸送の観測, エコテクノロジー研究, (2013) 印刷中 査読有
 19. 渡辺幸一, 曹仁秋, 成瀬 功, 石田幸恵, 上原佳敏, 朴木 英治, サルフェイトモニターによる富山県の平野部および山岳域における硫酸塩粒子の計測, エアロゾル研究, (2013) 印刷中 査読有
 20. Watanabe, K. and Honoki, H., Measurements of aerosol number concentrations and rainwater chemistry at Mt. Tateyama, near the coast of the Japan Sea in Central Japan: on the influence of high-elevation Asian dust particles in autumn, Journal of Atmospheric Chemistry, (2013) doi: 10.1007/s10874-013-9258-5 査読有

[学会発表] (計 10 件)

1. Watanabe, K., Honoki, H., Yamada, H., Aoki, M., Saito, Y., Iwatake, K., Mori, S. and Uehara, Y., Chemical composition of fog water at Mt. Tateyama near the coast of the Japan Sea in Central Japan, 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, 2010.7 (Muenster, Germany)
2. 渡辺幸一, 成瀬 功, 曹仁秋, 朴木英治, サルフェイトモニターによる硫酸塩粒子の測定, 第 27 回エアロゾル科学・技術研究討論会, 2010.8 (名古屋)
3. 渡辺幸一, 朴木英治, 立山西側斜面における霧水化学とエアロゾル粒子個数濃度の観測, 第 51 回大気環境学会年会, 2010.9 (大阪)
4. Watanabe, K., Nishimoto, D., Ishita, S., Iwama, S., Uehara, Y. and Honoki, H., Fog water chemistry at Mt. Tateyama, Japan, Acid rain 2011, 2011.6 (Beijing, China)
5. Watanabe, K., Iwama, S., Eda, N., Saito, Y., Nishimoto, D. and Ishita, S., Measurements of the vertical profiles of atmospheric pollutants over a suburban area in Japan using a helicopter, Acid rain 2011, 2011.6 (Beijing, China)
6. 渡辺幸一, 朴木英治, 西元大樹, 小森静, 石田幸恵, 岩間真治, 立山における霧水化学および大気エアロゾルの観測, 第 52 回大気環境学会年会, 2011.9 (長崎)
7. 渡辺幸一, 朴木英治, 曹仁秋, 立山における霧水・降水・露水化学および大気エアロゾルの観測, 第 53 回大気環境学会年会, 2012.9 (横浜)
8. 渡辺幸一, 道上芹奈, 小川厚次, 石田幸恵, 齊藤由紀子, 江田奈希紗, 岩間真治,

- 回転翼航空機を利用した富山県上空の微量気体成分の測定, 日本気象学会 2012 年度秋季大会, 2012.10 (札幌)
10. 渡辺幸一, 小川厚次, 道上芹奈, 西元大樹, 島田互, 青木一真, 川田邦夫, 立山・室堂平における積雪中の化学成分の特徴, 第 3 回極域科学シンポジウム, 2012.11 月 (立川)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

渡辺 幸一 (WATANABE KOICHI)
富山県立大学・工学部・准教授
研究者番号: 70352789

(2) 研究分担者

朴木 英治 (HONOKI HIDEHARU)
富山市科学博物館・学芸員
研究者番号: 10373482
久米 篤 (KUME ATSUSHI)
九州大学・大学院農学研究科・准教授
研究者番号: 20325492

青木 一真 (AOKI KAZUMA)
富山大学・大学院理工学研究部・准教授
研究者番号: 90345546
中野 孝教 (NAKANO TAKANORI)
総合地球環境学研究所・教授
研究者番号: 20155782

石田 仁 (ISADA MEGUMI)
岐阜大学・応用生物科学部フィールド科学
教育研究センター・准教授
研究者番号: 00397316

(3) 連携研究者

岩坂 泰信 (IWASAKA YASUNOBU)
金沢大学・フロンティアサイエンス機構・
教授
研究者番号: 20022709

松木 篤 (MATSUKI ATSUSHI)
金沢大学・フロンティアサイエンス機構・
准教授
研究者番号: 90505728

田中 泰宙 (50435591)
気象庁気象研究所・環境・応用気象研究
部・主任研究官
研究者番号: 50435591