

機関番号 : 53101

研究種目 : 基盤研究 (B)

研究期間 : 2008~2010

課題番号 : 20310113

研究課題名 (和文) 日本列島における酸性雪の一斉動態調査研究

研究課題名 (英文) Simultaneous investigations on acid snow in Japan

研究代表者

佐藤 和秀 (SATO KAZUHIDE)

長岡工業高等専門学校・環境都市工学科・特任教授

研究者番号 : 80113398

研究成果の概要 (和文) : 北海道から本州の山形県, 新潟県, 富山県にいたる冬期の降積雪試料を採取し, 主に酸性雪に関する化学特性の解析を行い, その実態の調査研究を実施した。報告例が少ない降積雪の過酸化水素濃度に関する多くの知見が得られた。より明確な因果関係の把握にはさらなる観測調査が必要であるが, 大気汚染物質あるいは積雪の主要イオン濃度, 過酸化水素濃度, pH, 黄砂, 雪氷藻類などの間にはいくつかの相関関係が見られ, 融雪水のイオンの選択的溶出も観測された。

研究成果の概要 (英文) : Snow samples were gathered from Hokkaido Island to Yamagata, Niigata and Toyama Prefectures in the Mainland in winter. By analyzing the chemical characteristics of these samples concerning an acid snow, the actual conditions were investigated.

A lot of findings were obtained concerning the hydrogen peroxide concentration of snow that the reports on its concentration are very little. Some relations were seen among the air pollutant substances, the major ion concentrations, the hydrogen peroxide concentrations, the pH of snow and the snow algae, etc. , and the selective elutions of the ion of snowmelt water were observed, though a further observation is necessary for the grasp of a clearer relation.

交付決定額

(金額単位 : 円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	9,300,000	2,790,000	12,090,000
2009 年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2010 年度	3,100,000	930,000	4,030,000
年度			
年度			
総計	15,400,000	4,620,000	20,020,000

研究分野 : 複合新領域

科研費の分科・細目 : 社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード : 雪氷災害

## 1. 研究開始当初の背景

2007年5月に新潟県では観測史上初めての光化学スモッグ注意報を発令した。この光化学スモッグは全国で発生し, 中国など大陸からの汚染物質の流入が原因と報道された。また全国的に酸性雨が観測され, 長岡市でも年

平均 pH 4.6 前後の降水があり, pH 値は年々小さくなる傾向にある。

特に冬期の日本海側では季節風の影響で, 大陸起源と思われる化学成分を多量に含んだ降雪がある。北欧や北米などでは融雪時, 酸性度の高い水が流出し河川, 湖沼や森林へ

の生態系に大きな影響を及ぼした acid shock について、日本の実態はほとんど不明である。アジア大陸の工業化と都市化の進展に伴い、大陸からの汚染物質の輸送量はますます増加されると予想される。しかし、日本全体の酸性雪の実態は不明であり、早急な実態解明が必要である。

## 2. 研究の目的

本研究は個々の組織・研究者が行っていた酸性雪研究を、全国のネットワークを活用して、同時一斉に観測・調査研究を行い、

- ・北海道から本州にいたる酸性雪の日本全体の状況を把握する。

- ・大気中の  $\text{SO}_x$  や  $\text{NO}_x$  の酸化に主役となる OH ラジカルと密接な関係にある積雪の過酸化水素 ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) 濃度、および微量重金属元素を測定し、光化学スモッグや酸性雨の背景にある大気化学系を検討する。

- ・降水の形態（雨、あられ、雪など）の違いによる降水の化学特性を調べる。

- ・越境汚染物質と黄砂現象との関係を分析する。

- ・融雪時の積雪の変態とイオン濃度の分布の時間変動の関係から、イオン種の違いによる融雪時の排出速度の異なる理由を明らかにすること、その際、雪中微生物と化学特性との関係を調べる。

などにより、大気環境と積雪の酸性度との関連を探り、日本における酸性雪の実態を明らかにすることを目的とした。

## 3. 研究の方法

### (1) フィールド観測

本研究の最も大切で出発点になるのはフィールドでの雪試料の採取である。南北に長い日本列島の地域性を考慮して、北海道では北見と札幌、本州では長岡市と十日町市で定点観測を行った。冬期の10日毎に全国一斉に積雪断面観測を行い、雪試料の採取を行った。また、定点観測地点と上越市および富山市から、最大積雪深の時期に車による移動観測を行い、数十地点の積雪断面観測を行い、雪試料の採取を行った。その範囲は高山としては大雪山、蔵王山、妙高山、立山山麓にも及んだ。

長岡では降水の形態（雨、あられ、雪など）の違いを考慮した降雪の採取を行った。また大気中の汚染物質として硫酸ガス、硝酸ガス濃度等の観測を行った。

### (2) 化学分析・重金属分析

採取した試料のpH（電極法）、主要イオン濃度（イオンクロマト法）や過酸化水素濃度（蛍

光分析法）などの測定を行った。また、一部の試料は鉄などの測定を行った。

### (3) 積雪の融雪実験

イオン種の違いによる融雪に伴う排出速度との関係を見るため、低温室で積雪の融解実験を行った。

### (4) 雪中微生物

フィールドでの定点観測と移動観測の際、表面積雪を採取し、雪中微生物の観測を行った。また滋賀県伊吹山でも観測した。

## 4. 研究成果

(1) 冬期の積雪内の化学成分の挙動について、本州の平野では冬期でも融雪があり、いわゆる湿雪状態が多く、冬期でも絶えず融雪水が表面より流下流出していることが多かった。時々の融雪水の流出でも、イオン種の選択的溶出はみられたが、イオン種の溶出順番はいつも同じではなかった。北海道札幌市での観測では、融雪が始まると一気に融雪水が流出し、硝酸イオンと硫酸イオンの選択的溶出が顕著であった。また高山（蔵王山、妙高山、立山）での、2月末から3月初めの最大積雪深の時期の積雪断面観測では、融解を示すざらめ層は少ない。

また低温室でのいろいろな観測地の積雪を使った融雪実験でも、フィールドでの内容を支持する結果を示した。

以上より、冬期、本州平野と北海道や高山での積雪内の化学成分の挙動は大いに異なるといえる。このことは日本における融雪水の acid shock の内容に大きく影響することが判明した。

(2) 本研究で注目した降積雪の過酸化水素濃度 ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) 濃度について、以下のような多くの知見が得られた。

- ・冬期の  $\text{H}_2\text{O}_2$  濃度は夏期より低い。
- ・日射量が多いと  $\text{H}_2\text{O}_2$  濃度は高くなる。
- ・冬期の  $\text{H}_2\text{O}_2$  濃度は、降雪より降雨のほうが高い。
- ・一降水の  $\text{H}_2\text{O}_2$  濃度の値は、降り始めから時間経過と共に減少する。
- ・冬期の  $\text{H}_2\text{O}_2$  濃度と主要イオン濃度との明らかな関係は見られなかったが、北見市や十日町市のそれぞれにおいて特徴が見られた。
- ・雪質（新雪、しまり雪、ざらめ雪など）と  $\text{H}_2\text{O}_2$  濃度と主要イオン濃度の関係についても、それぞれの地点で特徴が見られたが、理由を説明可能にするには、さらなる観測が必要である。

(3) 過酸化水素およびアルデヒド類の高精度の測定法の検討と確立を行い、富山県で実施した。

大気中の過酸化水素濃度は、静穏日には日中（午後）に濃度が高く、夜間に低くなる日変化が観測されたが、風速が強い荒天日などでは日変化が不明瞭となった。また、夏期に濃度が高く（数 ppv レベル）、冬期に低くなる傾向がみられた。また、大気中の過酸化水素濃度には、オゾン濃度と有意な正の相関関係、窒素酸化物濃度と逆相関関係がみられた。オゾンが過酸化水素の前駆物質であることや、窒素酸化物（特に一酸化窒素）により過酸化水素の生成が抑制されるためであると考えられる。降水中のホルムアルデヒド濃度も季節変化が観測され、光化学生成過程や大気から降水への取り込み過程の影響が考えられる。アセトアルデヒド濃度については季節変化が小さかった。4月の立山での積雪断面間観測からホルムアルデヒド濃度は硫酸イオン濃度と優位な正の相関関係がみられ、大陸起源の汚染物質の影響により濃度が増加している可能性が示唆された。

(4) 長岡での降水の形態（雨、あられ、雪など）と主要イオン濃度との関係は、雨は非海塩硫酸イオン、あられは非海塩カルシウムイオン濃度が高く、黄砂との関係が示唆された。

(5) 大気中の硫酸ガス、硝酸ガス濃度と降積雪の化学特性との関係は変動が激しく、さらなる観測が必要である。

(6) 黄砂は大気汚染物質に、そして降水の化学特性にも大きな影響を及ぼし、本研究の $H_2O_2$ 濃度も影響を受ける。黄砂から降水中に溶出する鉄濃度について、積雪を用いた黄砂の溶解度試験を行った。黄砂1イベントから鉄の湿性沈着量と降水に溶出した沈着量が求められた。この結果を、例えば西部太平洋地域に溶出すると仮定すると、溶存態鉄濃度は更に倍に増加することになる。大気中に浮遊する鉱物粒子が乾性沈着するか、湿性沈着するかで大きな影響の違いが出ることを示唆している。

(7) 上越、十日町、長岡、北見市の積雪中のクロロフィル（葉緑素）濃度の時間変化と地域比較を行った。各サンプルの顕微鏡観察の結果、クロロフィル濃度の高いサンプルの顕微鏡観察より、日本の山岳地域で見られるような典型的雪氷藻類はみられなかったが、緑藻類と思われる細胞が含まれていた。今回見られたクロロフィル濃度の時間変化、地域差は、藻類量によるものと考えられる。今回の結果を見る限り、比較的ECが低く、pHが高い条件が、藻類の繁殖に好条件であることが示唆された。今後、積雪融解量や風送ダスト量、気象条件等と比較し、考察していく必要がある。

雪氷藻類とは、雪や氷の表面で繁殖する光合成微生物である。2005年から2010年にかけて、滋賀県の伊吹山の山頂（標高1377m）付近の残雪で、雪氷藻類の調査を行った。残雪表面から採取した積雪の顕微鏡観察の結果、形態の異なる主に2つのタイプの雪氷藻類細胞を確認した。この藻類は、日本をふくめ世界各地で報告されている *Chloromonas nivalis* に形態がほぼ一致し、2つのタイプはこの種のそれぞれ発達段階の異なる休眠胞子と考えられる。観測を行った各年4月下旬の残雪には、ほぼすべてにこの藻類細胞が含まれていたことから、毎年この時期に残雪上に現れるものと考えられる。藻類バイオマスおよびクロロフィル量の測定の結果、それぞれ他の地域で報告されている赤雪等の着色雪と比べ低い値を示した。2007年4月に二回の調査を行った結果、この藻類の繁殖時期は、3月中旬から5月上旬までの1ヶ月半の融雪期間のうち、消雪直前のわずか1-2週間であることがわかった。

新潟県の3地点と北見市で積雪表面のクロロフィル濃度の測定が行われた。クロロフィル濃度の時間変化、地域差は藻類量によるものと思われる。積雪の化学特性や積雪アルベードにも関係する雪氷藻類の研究は始まったばかりである。

## 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 竹内望, 角川映江, 武藤恭子: 伊吹山頂上の残雪表面の雪氷藻類, 雪氷, (投稿中), 2011, 9, 査読有
- ② 佐藤和秀, 若井良太, 吉岡大佑, 亀田貴雄, 石坂雅昭, 竹内由香里, 横山宏太郎, 小南靖弘, 五十嵐誠: 降積雪の過酸化水素濃度と主要イオン濃度の測定, 雪氷北信越, 第31号, 2011. 5, 査読無
- ③ 渡辺幸一, 岩間真治, 江田奈希紗, 西元大樹, 小森 静, 齋藤由紀子, 川田邦夫: 立山・室堂平における春季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, 雪氷北信越, 31, 2011. 5, 査読無
- ④ 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, Vol. 211, No. 1-4, p. 379-393, doi:

10. 1007/s11270-009-0307-2, 2010, 査読有
- ⑤ Watanabe, K., Saito, Y., Tamura, S., Sakai, Y., Eda, N., Aoki, M., Kawabuchi, M., Yamada, H., Iwai, A. and Kawada, K. : Chemical characteristics of the snow pits at Murododaira, Mt. Tateyama, Japan, *Annals of Glaciology*, Vol. 52 (58), p.102-110, 2011, 査読有
- ⑥ 佐藤和秀, 田中暁大, 山崎祐希, 亀田貴雄, 石坂雅昭, 竹内由香里, 横山宏太郎, 小南靖弘, 五十嵐誠: 冬期降水の過酸化水素濃度と主要イオン濃度の特徴, 寒地技術論文・報告集, Vol. 26, 281-283, 2010. 12, 査読有
- ⑦ 松田権一, 若井良太, 吉岡大佑, 佐藤和秀: 積雪の化学特性-モンゴル・ウランバートル周辺と富山県立山の例-, 第28回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集, 土木学会関東支部新潟会, p. 428-429, 2010. 11, 査読無
- ⑧ 若井良太, 吉岡大佑, 松田権一, 佐藤和秀: 長岡市における降水の化学特性と外的要因との関連性, 第28回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集, 土木学会関東支部新潟会, p. 424-425, 2010. 11, 査読無
- ⑨ 吉岡大佑, 松田権一, 若井良太, 佐藤和秀: 長岡市における積雪の化学特性と過酸化水素濃度, 第28回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集, 土木学会関東支部新潟会, p. 426-427, 2010. 11, 査読無
- ⑩ 佐藤和秀, 田中暁大, 山崎祐希・亀田貴雄, 石坂雅昭, 竹内由香里: 積雪の過酸化水素濃度と主要イオン濃度について, 雪氷北信越, 第30号, p32, 2010. 5, 査読無
- ⑪ Watanabe, K., Aoki, M., Eda, N., Saito, Y., Sakai, Y., Tamura, S., Ohata, M., Kawabuchi, M., Takahashi, A., Miyashita, N. and Yamada, K.: Measurements of peroxide concentrations in precipitation and dew water in Toyama, *Bulletin of Glaciological Research*, Vol. 27, p. 1-5, 2009, 査読有
- ⑫ 高橋一義, 坂田健太: 地球観測衛星および地上写真画像による雪形発現地のマッピング, 寒地技術論文・報告集Vol. 25, pp. 234-239, 2009, 査読有
- ⑬ 眞島耕平, 高橋一義, 佐藤和秀: 衛星画像による積雪分布の解析, 第27回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集, 土木学会関東支部新潟会, p. 126-127, 2009. 11, 査読無
- ⑭ 山崎祐希, 淡路一成, 田中暁大, 佐藤和秀: 長岡市周辺の降水の化学特性および他地域との比較, 第27回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集, 土木学会関東支部新潟会, p. 392-393, 2009. 11, 査読無
- ⑮ 淡路一成, 山崎祐希, 田中暁大, 佐藤和秀: モンゴル・ウランバートル周辺の積雪の化学特性および他地域との比較, 第27回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集, 土木学会関東支部新潟会, p. 394-395, 2009. 11, 査読無
- ⑯ 田中暁大, 淡路一成, 山崎祐希, 佐藤和秀: 降水の過酸化水素の時間変動, 第27回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集, 土木学会関東支部新潟会, p. 396-397, 2009. 11, 査読無
- ⑰ 佐藤和秀, 小林祐介, 志田八州太郎: 積雪の過酸化水素と主要イオン濃度, 雪氷北信越, 第29号, p40, 2009. 6, 査読無
- ⑱ 志田八州太郎, 小林祐介, 佐藤和秀: 降水のイオン特性について, 第26回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集, 土木学会関東支部新潟会, p. 320, 2008. 11, 査読無
- ⑲ 高松 量, 佐藤和秀, 高橋一義, 田殿武雄: 人工衛星画像による雪形発現領域の把握, 第26回土木学会関東支部新潟会研究調査発表会論文集, 土木学会関東支部新潟会, p. 90, 2008. 11, 査読無
- ⑳ 廣田洸平, 恩田純一, 佐藤和秀: 長岡市における降水の過酸化水素濃度, 雪氷北信越, 第28号, p. 39, 2008. 6, 査読無
- [学会発表] (計11件)
- ① 的場澄人, 中村一樹, 佐藤和秀: 黄砂から降水中に溶出する鉄濃度-積雪を用いた黄砂の溶解度試験-1, 雪氷研究大会(2010・仙台)講演予稿集, 2010. 9 (仙台)
- ② 佐藤和秀, 田中暁大, 山崎祐希, 亀田貴雄, 石坂雅昭, 竹内由香里: 冬期降水の過酸化水素濃度と主要イオン濃度, 雪氷研究大会(2010・仙台)講演要旨集, p1, 2010. 9 (仙台)
- ③ Kazuhide Satow, Akihiro Tanaka, Takao Kameda, Masaaki Ishizuka and Yukari Takeuchi: Measurements of hydrogen peroxide and major ion concentrations in snowfall in Japan, *International Symposium on Snow, Ice and Humanity in a Changing Climate (abstracts)*, Sapporo 2010 (Hokkaido Univ.), p155, 2010. 6 (Sapporo)
- ④ Watanabe, K., Saito, Y., Tamura, S., Sakai, Y., Eda, N., Aoki, M., Kawabuchi, M., Yamada, H. and Iwai, A.: Chemical characteristics in the

- snow pits at Murododaira, Mt. Tateyama, Japan, International Symposium on Snow, Ice and Humanity in a Changing Climate, 2010.6 (Sapporo)
- ⑤ Watanabe, K., Saito, Y., Iwama, S., Eda, N., Aoki, M., Komori, S., Tamura, S. and Sakai, Y.: Hydroge peroxide concentrations in air, precipitation and dew water in Toyama, Japan, 12th International Conference on the Physics and Chemistry of Ice, 2010.9 (Sapporo)
- ⑥ Watanabe, K., Iwama, S., Saito, Y., Eda, N., Nishimoto, D., Komori, S., Iwatake, K. and Mori, S.: Chemical composition in the snow pit near the summit of Mt. Tateyama in Japan, 12th International Conference on the Physics and Chemistry of Ice, 2010.9 (Sapporo)
- ⑦ 高橋一義, 坂田健太: 地球観測衛星および地上写真画像による雪形発現地のマッピング, 第25回寒地技術シンポジウム, 2009.11.25 (札幌コンベンションセンター)
- ⑧ 佐藤和秀, 小林祐介, 志田八州太郎: 長岡市周辺の積雪の過酸化水素および主要イオン濃度の分析, 雪氷研究大会 (2009・札幌) 講演要旨集, p15, 2009.9-10 (札幌)
- ⑨ 竹内望, 横山宏太郎, 竹内由香里, 亀田貴雄, 佐藤和秀: 積雪中のクロロフィル (葉緑素) 濃度の時間変化と地域比較～上越地方, 十日町, 北見市, 雪氷研究大会 (2009・札幌) 講演要旨集, p131, 2009.9-10 (札幌)
- ⑩ 竹内望, 横山宏太郎, 竹内由香里, 亀田貴雄, 佐藤和秀: 積雪中のクロロフィル (葉緑素濃度の時間変化と地域比較～上越地方, 十日町, 長岡, 北見, 雪氷研究大会 (2009・札幌) 講演予稿集, 2009.9.29-10.03 (札幌)
- ⑪ 佐藤和秀, 廣田洗平, 恩田純一: 長岡市における降水の過酸化水素濃度の測定, 雪氷研究大会 (2008・東京) 講演要旨集, p182, 2008.9 (東京)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

佐藤 和秀 (SATO KAZUHIDE)  
長岡高専・環境都市工学科・特任教授  
研究者番号: 80113398

### (2) 研究分担者

亀田 貴雄 (KAMEDA TAKAO)  
北見工大・工学部・准教授  
研究者番号: 00233974  
石井 吉之 (ISHII YOSHIYUKI)

北大・低温研・助教  
研究者番号: 40222955  
的場 澄人 (MATOBA SUMITO)  
北大・低温研・助教  
研究者番号: 30391163  
高橋 一義 (TAKAHASHI KAZUYOSHI)  
福島高専・建設環境学科・准教授  
研究者番号: 00332651  
石坂 雅昭 (ISHIZAKA MASAACKI)  
防災科技研・雪氷防災研究センター・総括主任研究員  
研究者番号: 50414412  
竹内由香里 (TAKEUCHI YUKARI)  
森林総研・十日町試験地・主任研究員  
研究者番号: 90353755  
横山 宏太郎 (YOKOYAMA KOUTAROU)  
農業・食品産技総研機構・中央農業総研センター・専門員  
研究者番号: 30355599  
小南 靖弘 (KOMINAMI YASUHIRO)  
農業・食品産技総研機構・中央農業総研センター・主任研究員  
研究者番号: 00370544  
川田 邦夫 (KAWADA KUNIO)  
富山大学・極東地域研究センター・教授  
研究者番号: 20019003  
渡辺幸一 (WATANABE KOUICHI)  
富山県立大・工学部・准教授  
研究者番号: 70352789  
飯田 俊彰 (IIDA TOSHIAKI)  
東大・大学院農学生命科学研究科・講師  
研究者番号: 30193139  
五十嵐 誠 (IGARASHI MAKOTO)  
極地研・研究教育系・特任研究員  
研究者番号: 50435624  
竹内 望 (TAKEUCHI NOZOMI)  
千葉大・大学院理学研究科・准教授  
研究者番号: 30353452