

論 文

降雨の酸性化成分に及ぼす火山の影響解析  
—薩摩川内市の降雨において—

飯盛啓生

(西九州大学子ども学部子ども学科)

(平成28年1月29日受理)

**Effect of volcanic emissions on acidic components of rain-water:  
In case of rain-water of Satsuma-sendai City**

Hiroo ISAGAI

*(Department of Children's Studies, Faculty of Children's Studies, Nishikyushu University)*

(Accepted January 29, 2016)

**Abstract**

Main contributions of the acidification of the rainfall are sulfur oxide and nitrogen oxide. Sulfur oxide and nitrogen oxide are originated from human activity and nature. Volcano is one of origin of sulfur oxide and nitrogen oxide in nature. In Kagoshima prefecture, Mt. Sakurajima has been erupting. In addition, large eruption of Mt. Shinmoe was occurred in several times at 2010-2011. Satsuma-sendai City, Kagoshima, Japan is at almost equal distant from these volcanos. It was already reported that volcanic activity of Mt. Sakurajima and Mt. Shinmoe influenced to acidity of rain water at area of Satsuma-sendai City. This study further examines the characteristics of the rain water in Satsuma-sendai City by using data of rain water of the each acidification components (average value, maximum value, minimum value, standard deviation, coefficient of variation and histogram).

Key words : acid rain 酸性雨  
Volcano 火山  
acidic components 酸性化成分

## 1 緒 言

降雨の酸性化の起源には人為的発生源と自然発生源がある。人為的発生源は1980年代から環境への配慮という意識が高まり、自動車などからの移動性排出や工場からの排出は減少した。硫酸イオンの原因となる自然発生源の主な起源には海塩や火山からの噴出物がある。島国で活火山を有する日本においては降雨中の硫酸イオンの起源は火山からの自然発生源が無視できないといわれている<sup>1)~3)</sup>。火山起源の排出量を推計した結果、日本においては人為的排出源からの量にほぼ等しいかこれを上回るという報告がある<sup>4),5)</sup>。九州においては先に佐賀市の降雨が雲仙普賢岳の噴火によって酸性化したことについての詳しい報告がある<sup>6)</sup>。

桜島は2006年に58年ぶりに南岳東斜面の昭和火口から大きな噴火があり、その後2009年10月より噴火活動が活発化し、現在も続いている<sup>7)</sup>。さらに、2010年に霧島火山群の新燃岳において噴火が発生した。新燃岳は2010年8月から前駆的な小規模噴火を繰り返し、2011年1月26日に激しい噴火活動を始め、1月27日には軽石を放出した大規模な噴火が発生した。2011年9月7日の噴火を最後にそれ以降は現在まで噴火は発生していない<sup>8)</sup>。

しかし、現在も火口内は高温を保っているため火口周辺では規制が出されている。気象庁は平成27年10月22日に噴火警戒レベルを2に設定した。

今回、試料の採取地点とした薩摩川内市は桜島火山から北東約43km、新燃岳から南南西約55kmの地点に位置している盆地である。この地域は噴火時の噴出物による大きな影響はないが風向によっては降灰が認められる。

薩摩川内市の降雨のpHは雨量が多くなると次第に一定の値に収束し、雨量と電気伝導率をプロットした点は双曲線上に並ぶ傾向がみられることを報告した<sup>9)</sup>。また、硫酸イオンおよび硝酸イオンの増加と電気伝導率の増加は桜島および新燃岳の噴火とかなり関係があることについても報告した<sup>9)</sup>。

今回、さらに、薩摩川内市の降雨の酸性化成分についての詳しい解析を行ったので報告する。

本研究は薩摩川内市の降雨について桜島と新燃岳の両火山噴火の酸性化成分の影響を詳しく知るために2010年12月~2012年12月の2年間において一雨ごとに採水した試料について、化学的分析を行いその結果について解析を行ったものである。本論文は先

に報告した論文<sup>9)</sup>と合わせて薩摩川内市の降雨の特性を知る上で重要であり、意義があると考えられる。

## 2 実 験

### 2.1 試料の採取

試料の採取地点は薩摩川内市の国道3号線より西方、約10m地点にある住宅地である。降雨中の化学成分の濃度を測定するための試料採取は降雨の度に採水する方法が理想的であることが報告されている<sup>10)</sup>ので今回も一降雨ごとに採水を行った。ポリエチレン製濾斗とポリエチレン製ピンをセットし、2010年12月から2012年12月まで実施した。

### 2.2 測定

採取した雨水について、pH、硝酸イオン、硫酸イオンおよび電気伝導率を測定した。pHはガラス電極pHメーター(DKK HPH-130)、電気伝導率は電気伝導度計(TOA CM-405)を用いて測定した。

硝酸イオンは紫外線法、硫酸イオンは比濁法により、分光光度計(HACH社製DR/4000)によって測定した。

## 3 実験結果および考察

### 3.1 pH、電気伝導率、硝酸イオン、硫酸イオンの測定結果

pH、電気伝導率(Electrical Conductivity : E.C)、硝酸イオンおよび硫酸イオンのそれぞれの測定結果について平均値、最小値、最大値、変動係数、標準偏差の値をTable 1に示した。測定した試料は2010年12月より2012年12月迄の2年間における103個の試料である。

### 3.2 測定成分の解析

2010年12月から2012年12月における全試料についてpH、電気伝導率、硝酸イオンおよび硫酸イオンについて分析した結果をもとに解析した。

#### 3.2.1 pH

Table 1より測定期間中において最も低いpHは3.72であった。この試料は新燃岳噴火直後の降雨であり、この時には試料採取地点の薩摩川内市の花の色が退色する現象がみられた。2010年12月~2011年9月の新燃岳の噴火活動が活発であった期間<sup>8)</sup>にお

Table 1 Consideration of pH, E.C,  $\text{SO}_4^{2-}$   $\text{NO}_3^-$  of Rain water

	pH n = 103	E.C ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ ) n = 103	$\text{SO}_4^{2-}$ ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) n = 103	$\text{NO}_3^-$ ( $\text{mg dm}^{-3}$ ) n = 103
Average	4.80	21.9	2.13	0.494
Maximum	6.40	180.2	10.9	4.5
Minimum	3.72	0.95	0.2	0.1
Standard deviation	0.490	27.7	2.33	0.742
Coefficient of variation	0.102	1.27	1.09	1.50

ける pH の平均値は4.71であり、この値はこれ以降の測定値の平均値と比較して低い値であった。このことから、薩摩川内市の降雨は新燃岳の噴火の影響により酸性化することが示唆された。

通常、pH5.6以下の雨が酸性雨とされている<sup>2)</sup>。今回の測定期間（2010年12月～2012年12月）において、降雨の pH はほとんどが pH5.6以下の酸性雨であった。また、新燃岳の噴火がほぼ収束した2012年において、pH4.04、pH3.97の低い値がみられた。これは桜島の大きな噴火後の降雨であった。これらのことから薩摩川内市の降雨の酸性化には新燃岳と桜島の両火山の噴火の影響がかなりあることがわかった。

### 3.2.2 電気伝導率 (E.C)

降雨の電気伝導率は降雨中に含まれる化学成分の濃度に関係していることが既に報告されている<sup>11)</sup>。電気伝導率は降雨中に存在するイオン性化学成分量の目安と考えられる。電気伝導率は冬季モンスーンの影響により冬場に高くなることも報告されている<sup>12)</sup>。さらに、台風時に高くなり、風速の影響が大きいことも報告されている<sup>6)</sup>。

測定期間中の平均値は $21.9\mu\text{S cm}^{-1}$ であった。2010年12月より2011年2月の期間に高い電気伝導率の値がみられた。2010年12月31日採取した降雨においては $180.2\mu\text{S cm}^{-1}$ の値を示し、今回の測定期間中で最も高い値を示している。新燃岳噴火が激しかった2012年1月においても高い値を示し $100\mu\text{S cm}^{-1}$ を超える値を示した。これらは新燃岳の噴火が活発であった時の降雨であることから、新燃岳からの噴出物の影響が考えられる。また2012年2月において $120.3\mu\text{S cm}^{-1}$ の高い値を示した降雨があったがこれは火山の影響に加え、突風による気象変化の影響もあったと考えられる。

### 3.2.3 硝酸イオン

Table 1 より硝酸イオンの濃度は2011年2月に最

大値 $4.5\text{mg dm}^{-3}$ を示した。この値は新燃岳の爆発を伴う噴火直後であり、噴火による硝酸イオンの影響が大きかったと考えられる。

Fig. 1 に試料採取月別の硝酸イオンの平均値を示した。新燃岳の爆発的噴火があった2010年12月～2012年2月に於いて高い値を示した。これは新燃岳の噴火が降雨の硝酸の生成に関係していることが考えられた。

火山噴火により発生した一酸化窒素は水蒸気と反応し二酸化窒素となる。さらに、これは硝酸に酸化される。これが降雨に取り込まれ降雨の pH を低下させた。

2011年の8、9月および2012年の7月に硝酸イオンの濃度は高くなった。自然界においての大規模な放電は雷、火山の噴火であるといわれている<sup>13)</sup>。2012年7月は雷雨の影響も考えられる。指宿によると夏季の硝酸生成速度は冬季の約1.8倍になるといわれており<sup>2)</sup>、今回も夏場に高い値が見られた。

これは、夏場に硝酸の生成速度が高くなることに加え前の雨から次の雨までの期間が長くなると高くなる傾向にあることが報告されており<sup>14)</sup>このことも影響していることが考えられる。

### 3.2.4 硫酸イオン

火山からは硫酸イオンの起源である二酸化硫黄や

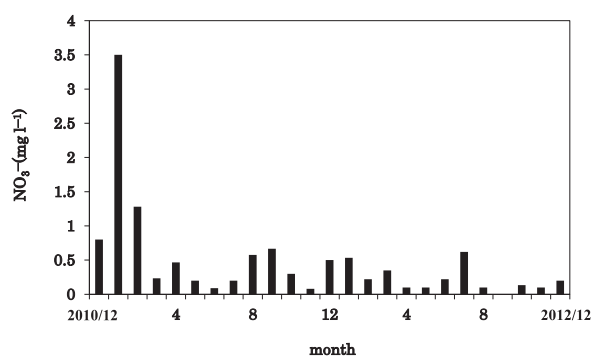


Fig. 1 Average monthly concentrations of  $\text{NO}_3^-$  of Rain water

硫化水素が噴出しており、酸性雨の一因といわれている。雲仙噴火時のガスの影響により佐賀市の降雨が酸性化したことはすでに報告されている<sup>15)</sup>。

Fig. 2 に試料採取月別の硫酸イオンの平均値を示した。硫酸の濃度は桜島の噴火と新燃岳の爆発的噴火があった期間（2010年12月～2011年2月）に高くなる傾向がみられた。

酸性雨の生成過程においては気象条件の影響が大きく硫酸イオンの生成に関係があることが報告されている<sup>16)</sup>。雲中で行われる二酸化硫黄の酸化は夏の昼間が最大であり、夏場に降雨中の二酸化硫黄の濃度は高くなることについての報告もある<sup>10)</sup>。冬季に季節風の影響を受けると降雨中の硫酸イオンの濃度が高くなることについても報告されている<sup>12)</sup>。今回は2011年12月、2012年1月の冬場に高い値を示したがこの時は突風の影響があったことが考えられる。

### 3.3 硝酸イオンと pH の関係

硝酸イオンと pH との関係を図 3 に示した。Fig. 3 に示されるように pH が低いときは硝酸イオンの濃度は高くなる傾向がみられた。特に、硝酸イオンの濃度が高いときの降雨は、新燃岳の噴火活動が激しかった時であり、薩摩川内市の降雨の硝酸イ

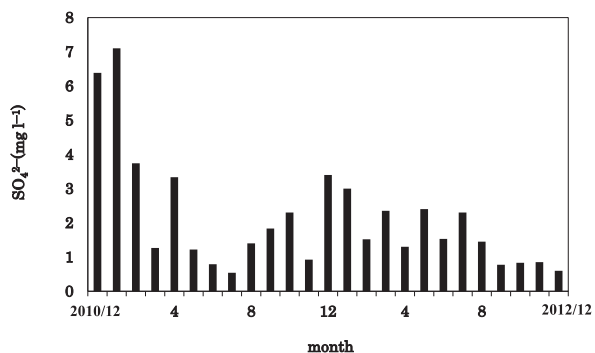


Fig. 2 Average monthly concentrations of  $\text{SO}_4^{2-}$  of Rain water

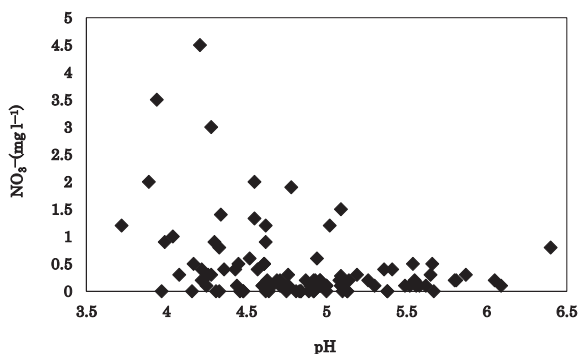


Fig. 3 Relationship between pH and  $\text{NO}_3^-$

オン濃度は火山の影響を受けていることが考えられる。

### 3.4 硫酸イオンと pH の関係

pH と硫酸イオンの関係を図 4 に示した。Fig. 4 に示したように pH が低いとき硫酸イオンの濃度は高くなる傾向がみられた。桜島、新燃岳の噴火が起こったときに pH は低く、硫酸イオンの濃度は高くなる傾向がみられた。したがって、薩摩川内市の降雨の硫酸イオンについても、硝酸イオンと同様に火山噴火の影響を受けていることが示唆された。火山の噴煙には硫黄酸化物が多いことから爆発を伴う噴火がなくても噴煙が発生すると pH に影響があることが考えられる。以上のことから薩摩川内市の硫酸イオンの値は火山の影響を受けて pH が低くなることがわかった。

### 3.5 硝酸イオンと硫酸イオン

Fig. 5 に硝酸イオンと硫酸イオンの関係について図示した。Fig. 5 に示すように硝酸イオンと硫酸イオンの間には  $R^2=0.532$  の関係が見られた。硝酸イオンは新燃岳の噴火や気象条件により、非常に高くなる時があり、この時は硫酸イオンも高い値を

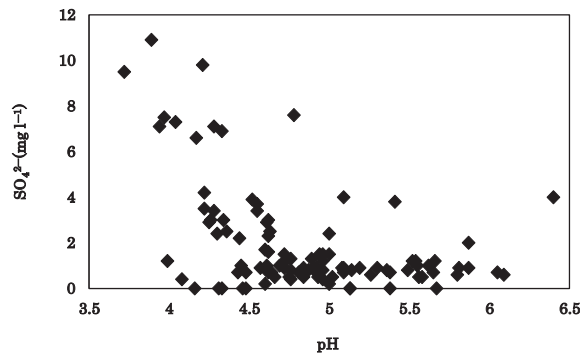


Fig. 4 Relationship between pH and  $\text{SO}_4^{2-}$

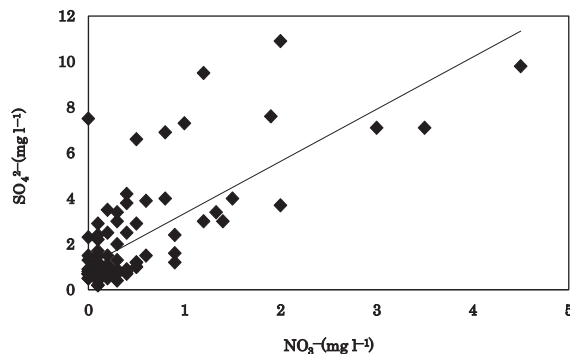


Fig. 5 Relationship between  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$

示した。硝酸イオンに比べ硫酸イオンの増加が少ないため両イオンの当量比 (N/S) は高くなった。2012年の夏場においては硫酸イオン、硝酸イオンの濃度がともに低く、N/Sは低い値となった。この時期は桜島噴火による薩摩川内市方面への噴煙の影響は少なかった。硫酸イオンと硝酸イオンの当量比については先の論文<sup>9)</sup>において解説した。

### 3.6 桜島の噴火回数と硫酸イオンの関係

桜島昭和火口における測定月の硫酸イオンの平均値と噴火回数の関係を Fig. 6 に示した。薩摩川内市の降雨中の硫酸イオンの濃度は桜島の噴火の回数が多いほど増加している。しかし噴火回数が少なかったにもかかわらず、硫酸イオンが多い降雨もあった。これは2011年新燃岳の大噴火の際に、新燃岳からの硫酸イオンの排出が大きく、降雨中の硫酸イオンが増加したことによるものと考えられる。

### 3.7 頻度分布

#### 3.7.1 雨量

採取試料の雨量の頻度分布を Fig. 7 に示した。雨量20mm以下の降雨が全降雨の52%の半数以上であった。

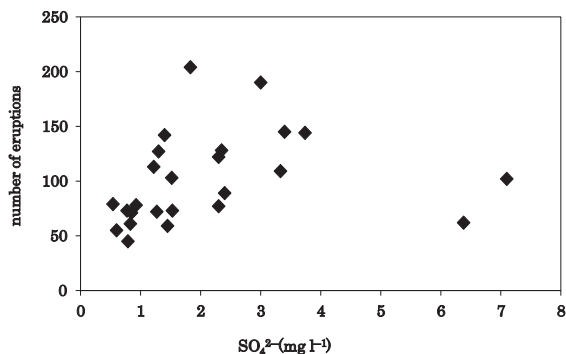


Fig. 6 Relationship between  $\text{SO}_4^{2-}$  and monthly number of eruptions of Sakurajima

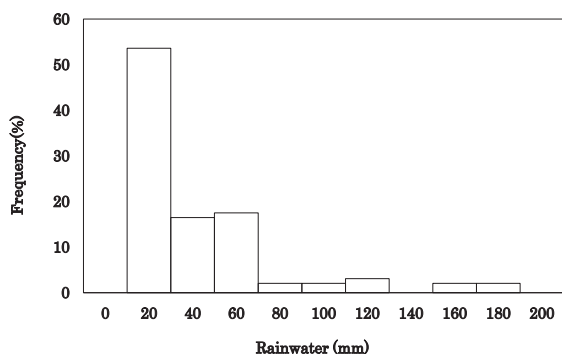


Fig. 7 Frequency of Rain water

#### 3.7.2 pH

pHの頻度分布を Fig. 8 に示した。環境省においては平成22年に「越境大気汚染・酸性雨長期モニタリング計画」に基づき、日本の酸性雨調査結果が報告されている。それによると日本の全国平均は4.82であり、川内の平均値も全国平均とほぼ同じであった。新燃岳に近い“えびの”の値は4.72と報告されている。通常酸性雨といわれる pH5.6以下の降雨は全体の93%であり、この土地の降雨はほとんどが酸性雨であり、pH3.8~4.8の降雨が48%であった。

#### 3.7.3 電気伝導率

電気伝導率の頻度分布を Fig. 9 に示した。電気伝導率の区間が $10\mu\text{S cm}^{-1}$ ~ $40\mu\text{S cm}^{-1}$ の降雨が88.3%を占めた。2011年6月に約2週間の連続降雨があった最終日に測定期間中で最も低い値の $0.95\mu\text{S cm}^{-1}$ がみられた。このとき pH は5.09であった。電気伝導率は降雨中のイオンの総量に比例すると考えられており、薩摩川内市の降雨においても同様なことが言える。

#### 3.7.4 硫酸イオン

硫酸イオンの頻度分布を Fig. 10 に示した。最も高い硫酸イオンの区間は $0\sim 1.0\text{mg dm}^{-3}$ の51.6%であった。 $1.0\sim 2.0\text{mg dm}^{-3}$ が16.1%、 $3.0\sim 4.0\text{mg}$

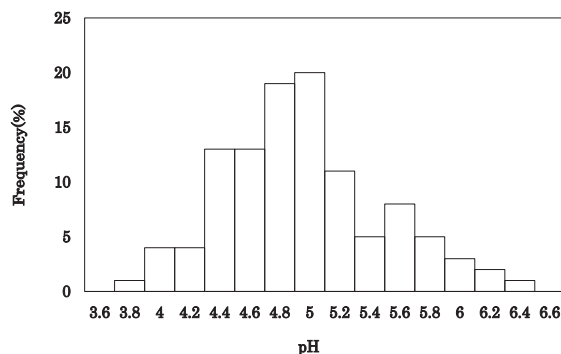


Fig. 8 Frequency of pH of Rain water

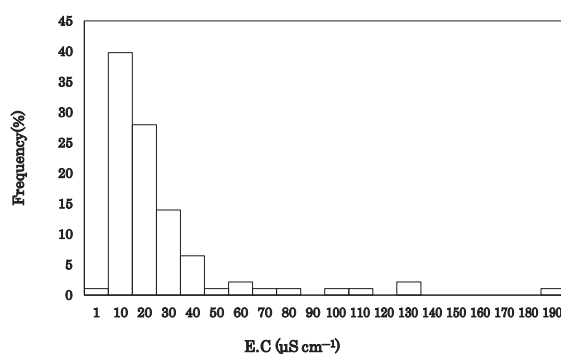


Fig. 9 Frequency of E.C of Rain water

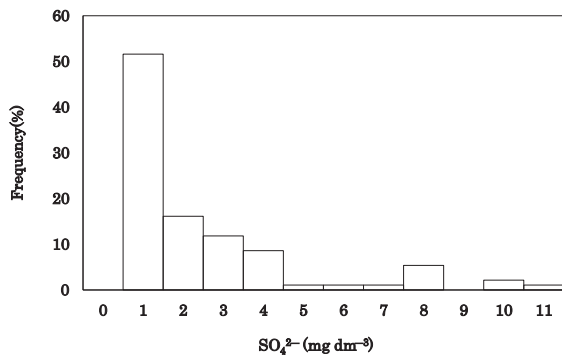


Fig. 10 Frequency of SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> of Rain water

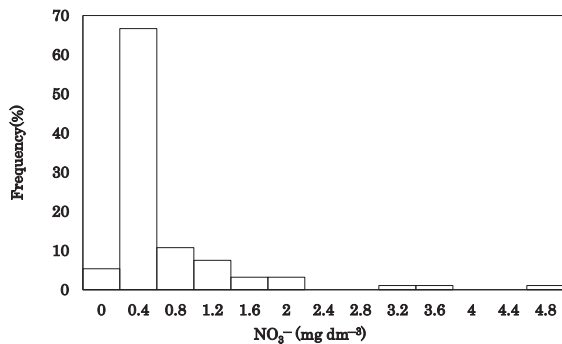


Fig. 11 Frequency of NO<sub>3</sub><sup>-</sup> of Rain water

dm<sup>-3</sup>が8.6%であった。Fig. 7に示すとおり、7.0mg dm<sup>-3</sup>より高い区間に存在する降雨は僅かであった。

### 3.7.5 硝酸イオン

pHの頻度分布をFig. 11に示した。硝酸イオンは0.4mg dm<sup>-3</sup>以下の区間が8割程度であり、ほとんどの試料がこの範囲にあることがわかった。

## 4 まとめ

桜島および新燃岳の噴火が薩摩川内市の降雨へ及ぼす影響を知るために、降雨の電気伝導率、硫酸イオン、硝酸イオンおよびpHを測定し解析した。

両火山の噴火活動により、降雨の電気伝導率は高く、pHは低くなった。このとき、硝酸イオンと硫酸イオンの濃度は高くなった。降雨の硝酸イオンと硫酸イオンの等量比は全国平均値よりも低い値であった。今回の測定期間(2010年12月~2012年12月)における平均pH値は4.80であった。また桜島、新燃岳がともに噴火したときの降雨のpHは3.72で測定期間中最も低かった。

桜島の噴火に加えて、今回の新燃岳の噴火活動は薩摩川内市の降雨の硫酸イオン、硝酸イオンの増加に寄与し、降雨を酸性化したことがわかった。また硫酸イオンと硝酸イオンの間には高い正の相関がみ

られた。

頻度分布の結果から、pH5.6以下の降雨は全体の93%であり、この土地の降雨はほとんどが酸性雨であり、pH3.8~4.8の降雨が48%であった。また、硫酸イオンは0~1.0mg dm<sup>-3</sup>の濃度の試料が約5割を占めたが、7.0mg dm<sup>-3</sup>を超える高い濃度の試料も確認された。

## 文 献

- 1) 角皆静男, 山本宏, 日本化学会編: “季刊化学概説大気化学”, No. 10, 学会出版センター, p. 76 (1990)
- 2) 指宿堯嗣, 日本化学会編, “季刊化学総説大気化学”, No. 10, 学会出版センター, p. 100 (1990)
- 3) 北村守次, 加藤拓紀, 関口恭一, 田口圭介, 玉置元則, 大原真由美, 森淳子, 村野健太郎, 若松伸司, 山中芳夫, 大喜多敏一, 原宏: 日本化学会誌, 1991, 991 (1991)
- 4) 藤田慎一, 外岡豊, 大田一也: 大気汚染学会誌, 27, 336 (1992)
- 5) 藤田慎一: 大気汚染学会誌, 28, 72 (1993)
- 6) 飯盛和代, 飯盛喜代春, 中添勝代: 日本化学会誌, 6, 565 (1994)
- 7) 井口正人, 横尾亮彦, 為栗健: 京都大学防災研究所年報, 53, B, 233 (2010)
- 8) 及川輝樹: 霧島火山, 地質総合調査センター研究資料集, 578, 6 (2013)
- 9) 飯盛啓生: 分析化学, 65, 12, 955-958 (2014)
- 10) 田淵俊男, 水質汚濁研究, 18, 486 (1985)
- 11) H.Hara, *Chem. Lett.*, 17, 713 (1988)
- 12) 角皆静男, 品川高儀: 地球化学 11, 1 (1977)
- 13) 鈴木仁美: “窒素酸化物の事典”, p. 217 (2008) (丸善)
- 14) 飯盛啓生, 飯盛和代: 第48回日本化学関連支部合同九州大会講演予稿集 p150 (2011)
- 15) 飯盛和代, 飯盛喜代春, 中添勝代: 日本化学会誌 6, 569 (1994)
- 16) 指宿堯嗣: “季刊化学総説大気化学”, 日本化学会編, (学会出版センター) No. 10, p. 99 (1990)