

# 冬季降水の pH 変動に関する一考察

## A Study on the pH-fluctuation of Precipitation in Winter season

仁平 明 高橋 誠幸 中村 栄一  
木戸 一博

Akira NIDAIRA, Seiko TAKAHASHI, Eiichi NAKAMURA  
Kazuhiro KIDO

これまで報告してきた県内の酸性雨自動測定結果では西高東低の気圧配置のときに日本海側から流れ込んだ雪雲による降水の pH は低くはなかった。日本海側における冬季降水の pH 変動を詳細に解釈するため、1日単位のサンプリングを行っている環境省酸性雨対策調査データを活用して時間分解能を高めた解析を行ったところ、調査地点上空で大陸由来の大気中  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度が増大した後の降水は  $\text{nss-SO}_4^{2-}$  が増加し pH は低下する関連性がみられ、大陸からの汚染物質輸送は  $\text{SO}_2$  排出量が多い中国中部から直接の場合と迂回する場合があります、西高東低の気圧配置が続くときはむしろ大気を浄化させ pH 低下の要因にはなっていない。また、寒気の流入により日本海側に雲頂高度の低い雲が発生する気象条件下では地域汚染の影響を受け降水中  $\text{nss-SO}_4^{2-}$  濃度、pH に地域差が生じると考えられた。

キーワード：酸性雨；pH；日本海側；冬季

Key words : Acid rain ; pH ; Sea of Japan side ; Winter season

### 1 はじめに

これまで報告してきた pH 型酸性雨自動測定結果では、西高東低の気圧配置のときに日本海上で発生した雪雲が太平洋側の宮城県に流れ込んだ降水の pH は低くはなかった<sup>1)</sup>。長期間サンプリングによる酸性雨調査では日本海側における降水の pH は冬季に低く、西高東低の気圧配置時の北西季節風により大陸由来の大気汚染物質が流入するためと推論されている<sup>2)</sup>。一方で日本海側冬季降水中の  $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}_3^-$  濃度は周辺地域の排出量区分と一致するとの記述もあり<sup>2)</sup>、総観規模で考えるとこれらは矛盾しているように思える。

それぞれの観測事実を合理的に解釈するには、冬季の酸性化現象について更に詳細な解析が求められる。特に、通常のモニタリングは2週間とか1カ月の長期間サンプリングのため、降水個々についての考察は不可能である。そこで、時間分解能を高めるものとして1日単位のサンプリングを行っている環境省酸性雨対策調査データを活用し、酸性化と気象状況に着目した解析を行った。

### 2 解析データ

#### 2.1 環境省平成18年度酸性雨対策調査データ

酸性雨研究センターから入手

調査地点：新潟巻及び佐渡関岬（図1）

解析期間：2007年1月

採取間隔：当日9:00～翌日9:00の1日毎

#### 2.2 気象データ

気象庁 (<http://www.jma.go.jp/jp/g3>) 及び国際気象海洋株 (<http://www.imocwx.com/wxfax.htm>) ホームページから引用

#### 2.3 CFORS（化学天気予報システム）データ

国立環境研究所ホームページ (<http://www.cfors.nies.go.jp/~cfors/index-j.html>) から引用

### 3 結果及び考察

#### 3.1 冬型気圧配置と降水 pH、イオン成分濃度

2007年1月の新潟巻における降水量、pH及びnss,ss別の $\text{SO}_4^{2-}$ と $\text{NO}_3^-$ 当量濃度を図2に上から順に示す。また、下段はCFORSから読み取った新潟市上空の大気中 $\text{SO}_4^{2-}$ 予測濃度、背景の縦縞は西高東低の気圧配置のときを表す。なお、CFORSの $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度図には2,5,10,15,30,50及び $70\mu\text{g}/\text{m}^3$ の等値線が示されている。読み取りは目的の地点を挟む等値線の間中値を採用し、最小等値線 $2\mu\text{g}/\text{m}^3$ の外側は $1\mu\text{g}/\text{m}^3$ とした。

解析した期間は西高東低の気圧配置が続くことが少なかった。1日平均のpHはほとんどが4.5以下である。2006年度の平均pHが4.62であることから、この時期のpHは平均的に低だけでなく、個々の降水も全体的に低めに推移しているようである。ただし、pH3台の低pHの多くは西高東低の気圧配置以外のときに出現しており、その降水中の $\text{nss-SO}_4^{2-}$ は増加している。そしてCFORSでは降水中 $\text{nss-SO}_4^{2-}$ 増加の直前に大気中 $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度の増大がみられる。CFORSは予測値でありどの程度実状を表現できているかの課題はあるが、仮にその実力が良好であるとすれば、大気中 $\text{SO}_4^{2-}$ 濃度が増大



図1 環境省酸性雨対策調査地点（新潟県内）

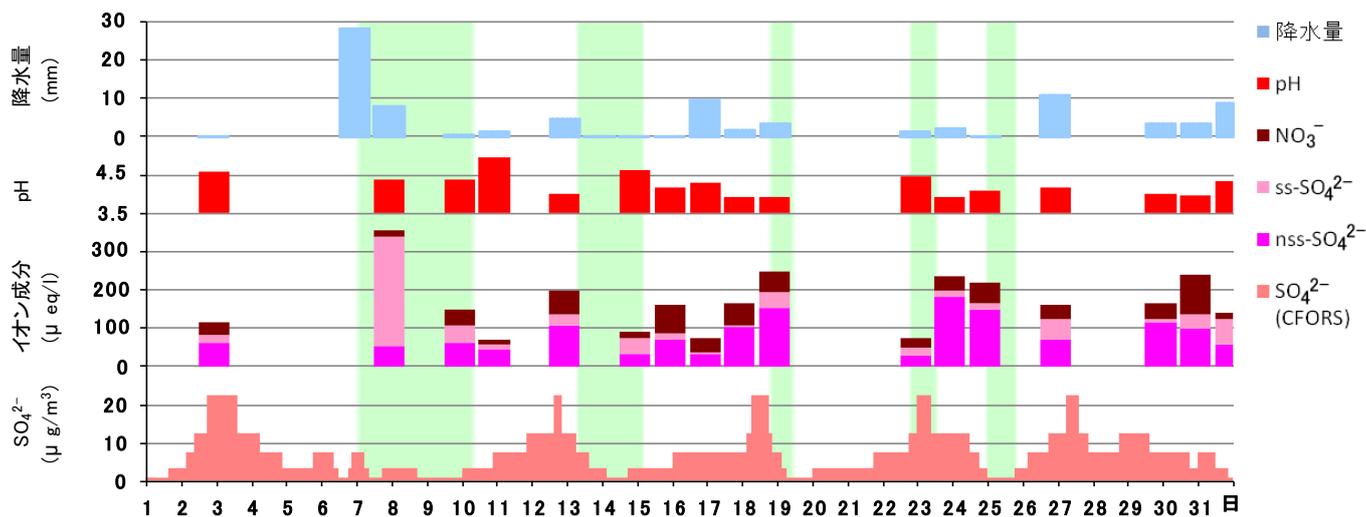


図2 日降水中イオン成分とCFORSによるSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度変化 (2007年1月、新潟巻)  
 図背景縦縞の期間は西高東低の気圧配置

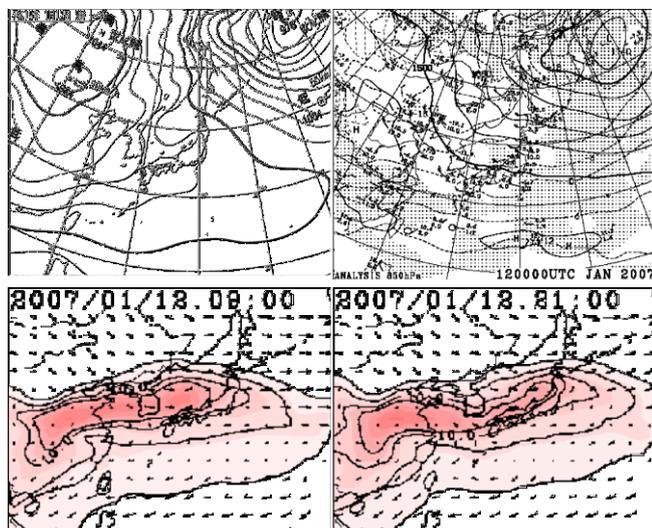


図3 pH低下事例 (2007年1月12日)

上段左: 地上天気図 (9時)、右: 850hPa高層天気図 (9時)  
 下段: CFORSによるSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度分布 (9、21時)、等値線は本文参照

した後の降水は nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が増加し、pH は低下する関連性がみられる。また、西高東低の気圧配置のときは大気中 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度が減少する 경우가多く、その際の降水 pH も特に低下する様子はない。北西季節風はむしろ大気を浄化し、pH 低下の要因にはなっていないようである。

### 3.2 pH 低下事例

1月12日は西高東低の気圧配置が緩み西から次第に高気圧に覆われたときで5.0mmの降水があり、日平均pHは4.03と低かった。9時の地上及び850hPa高層天気図、9時と21時のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>予測図をそれぞれ図3に示す。CFORSではSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>高濃度域が中国中部から三東半島を経て東に延び本州に達している。850hPa高層天気図の等高線は日本付近でほぼ東西に走っている。この地衡風が東方への輸送力になっていると考えられ、本事例は大陸起源の汚染物質流入により酸性化が進んだものと解釈される。

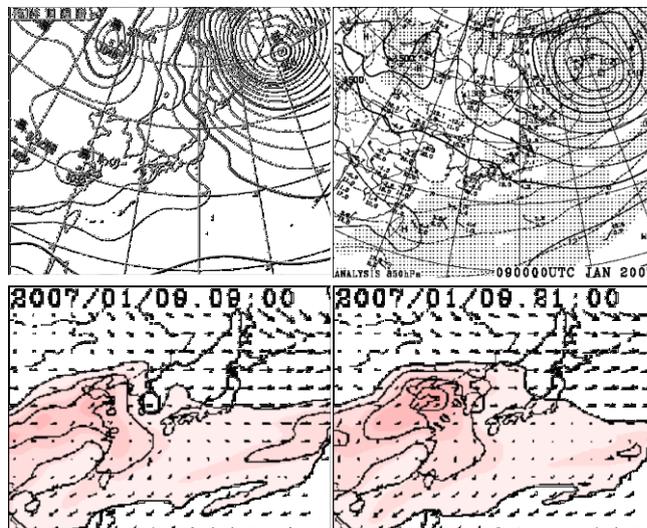


図4 西高東低の気圧配置でpHが低下しない事例 (2007年1月9日)、図の配置は図3と同じ

### 3.3 西高東低の気圧配置でpHが低下しない事例

図3同様の天気図等を図4に示す。前々日から西高東低の気圧配置が続いた1月9日は0.8mmの降水があり、日平均pHは4.41で前事例ほど低下せず、nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度も低かった。850hPa高層天気図は東谷で北西風が卓越する気象場である。CFORSにおいては9時、21時とも東北地方上空のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度は最小等値線外であり、大陸からの寄与はなかったとみられる。

### 3.4 西高東低の気圧配置でpHが低下した事例

図2で18日は他の西高東低の気圧配置のときと異なり、降水中のpHは低くnss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>は増加しており、先行して大気中SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度の増大があった。図5は17日～19日における図3同様の天気図等である。17日に本州南岸を低気圧が東進した後、18日午後から19日朝にかけて一時的に西高東低の気圧配置となったが、19日日中は早くも大陸の高気圧が本州上空に張り出している。850hPa高層天気図では17日に本州の西にあった気圧の谷が19日には東に移っている。大気中SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度は、

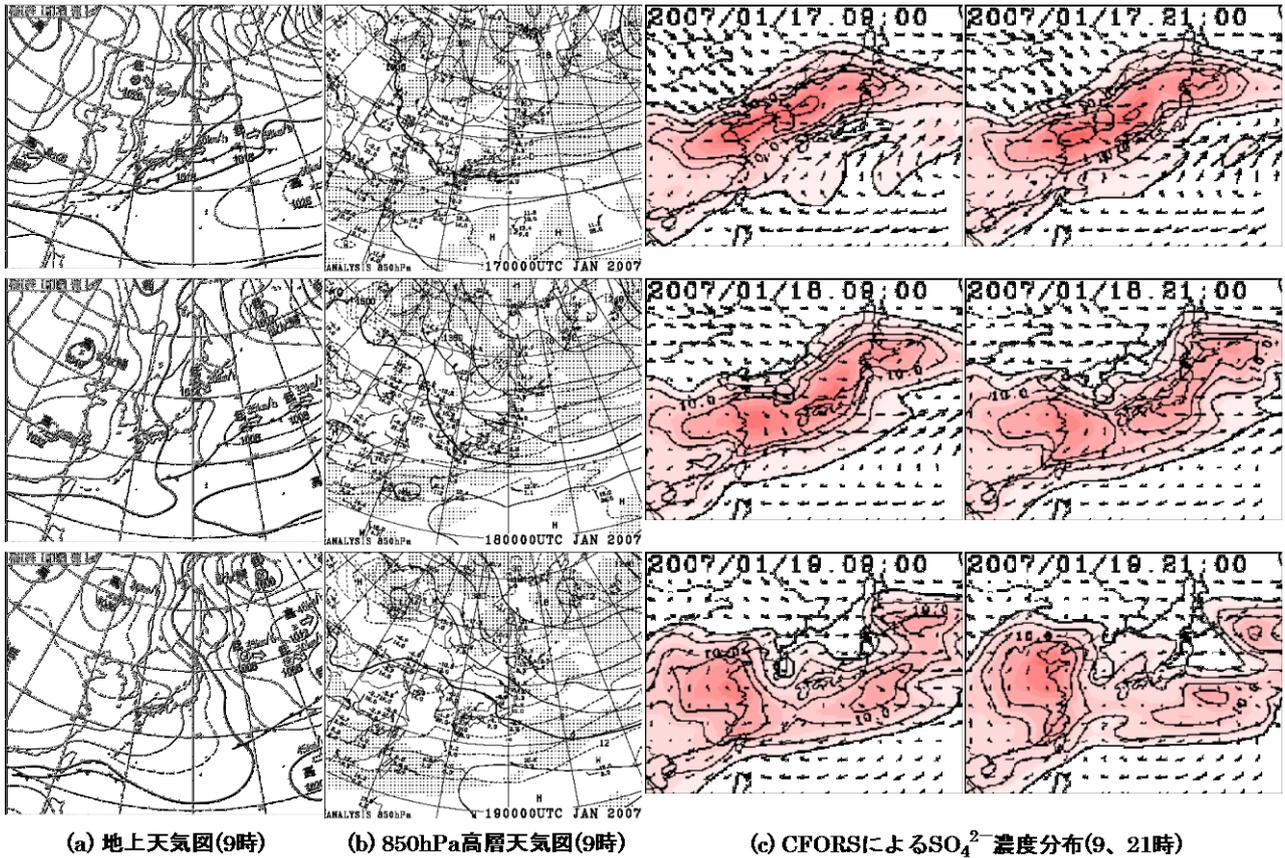


図5 西高東低の気圧配置でpHが低下した事例(2007年1月17日~19日)

14 日午前が高気圧下の中国山東半島付近で発生した高濃度気塊が 17 日午前にかけて北東に進み日本海上にあった。850hPa 高層天気図で気圧の谷が本州から東に移った 18, 19 日は地衡風に対応して高濃度気塊は低気圧の後部を南東に移動しながら本州を通過している。特に東谷となった 19 日は高濃度気塊が太平洋上に抜け、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度は減少すると予測されている。

本事例は西高東低の気圧配置になる前に日本海北部に山東半島付近から汚染物質の輸送があり、これが北西季節風によって日本上空に運ばれ、降水の酸性化に寄与したと考えられる。前の 2 事例を含めて考察すると、SO<sub>2</sub>排出量が多い中国中部 (<http://www-gis5.nies.go.jp/eastasia/AerialPollMap1.php>) を通過した空気塊が 12 日の事例のように直接又は 18 日の事例のように迂回して流入した場合は大陸の影響が顕著であるが、9 日の事例のように東谷の状態が続く通常の西高東低の気圧配置の場合は汚染物質の供給がなく pH の低下は生じないようである。

3.5 新潟巻と佐渡関岬の降水成分比較

新潟巻と佐渡関岬における降水成分を比較するため、H<sup>+</sup>、nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>及び NO<sub>3</sub><sup>-</sup>について新潟巻の佐渡関岬に対する濃度差を図 6 に示した。図 6 で濃度差が正のときは新潟巻の濃度が高く、負は佐渡関岬の濃度が高いことを表す。全体的には新潟巻の方が濃度は高い場合が多いが、中には佐渡関岬の濃度が高いときもある。ただし、降水中成分濃度は一般的には降水の継続とともに減少し、特に降水初期は減少が大きい性質がある<sup>3) 4)</sup>ので、降

水量を加味して評価する必要がある。22 日の nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>と NO<sub>3</sub><sup>-</sup>及び 23 日の NO<sub>3</sub><sup>-</sup>は佐渡関岬の濃度が新潟巻より高かったが、両日の日降水量は新潟巻がそれぞれ 1.5mm, 2.5mm, 佐渡関岬は 0.5mm, 1.0mm と少なかった。佐渡関岬は初期降水に相当し降水量依存性で濃度が高くなりやすい可能性が残っているため、単純に濃度を比較することはできない。29, 30 日の降水量は新潟巻がともに 3.5mm, 佐渡関岬は 2.6mm, 5.0mm と 22, 23 日より多かった。このときは nss-SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度差が大きい。H<sup>+</sup>濃度も新潟巻の方が高く、図 2 のとおり pH4.0 を記録している。両地点の降水量はほぼ同程度とみなせ、特に 29 日は新潟巻の降水量が佐渡関岬より多かったにもかかわらず正の濃度差が生じていることから、地域汚染の影響が示唆された。

3.6 新潟巻の pH が佐渡関岬より低い事例

新潟巻と佐渡関岬の濃度差が大きかった 29 日と 30 日について、それぞれのサンプリングが終了する翌日 9 時の気象衛星赤外面像と可視画像及び CFORS による大気中 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度分布図を図 7 に示した。CFORS においては新潟巻と佐渡関岬上空での濃度差はない。気象衛星可視画像によれば、30, 31 日も新潟巻を含む日本海沿岸に雲が写っている。赤外面像ではこの雲は薄く雲頂高度の低い雲が日本海側に発生していた。太平洋側ではやませのときにこのような状況が生じる。両者とも寒気の流入により海面から蒸発した水分が生成する地表付近の雲であることが共通しており、やませについては拡散が進行する前の地域汚染物質を雲水に取り込むことによって

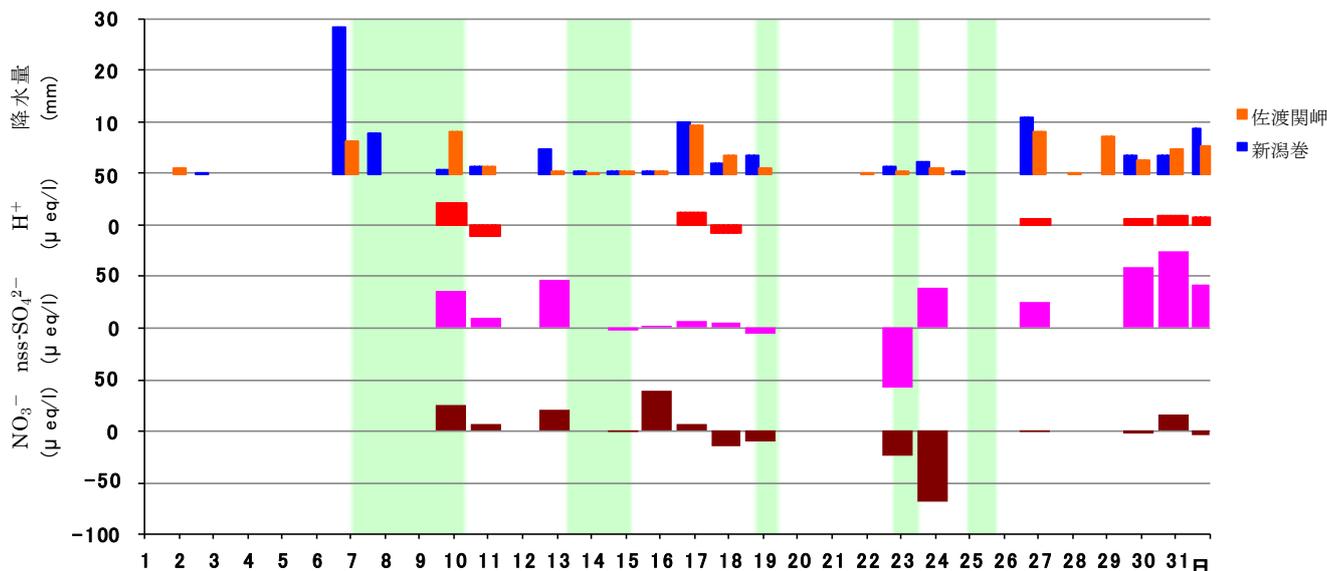


図6 新潟巻の佐渡関岬に対する降水中イオン成分濃度差（2007年1月）  
図背景縦縞の期間は西高東低の気圧配置

低 pH が出現するとの推測を行っている<sup>5)</sup>。新潟巻と佐渡関岬において、降水量はほぼ同程度とみなせ、また、CFORS の濃度差もなく、これらの要因で地域差を説明するのは難しい。本事例については、やませと同様に地域汚染の影響を受けやすい気象状況が形成されたことにより、新潟巻で pH が低下するとともに佐渡関岬との濃度差が生じたのではないかと考えられる。

#### 4 まとめ

2007年1月の新潟巻及び佐渡関岬における環境省酸性雨対策調査データを解析したところ、

- (1) 大陸由来の大気中  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度が増大した後の降水は  $\text{nss-SO}_4^{2-}$  が増加し、pH は低下する関連性がみられた。
- (2) 大陸からの汚染物質供給は、直接の場合と北東部に移動した後に北西季節風により輸送される場合があった。
- (3) 西高東低の気圧配置は後者の場合に関与するが、通常はむしろ大気を浄化させており、pH 低下の要因にはならない。
- (4) 寒気の流入により日本海側に雲頂高度の低い雲が発生する気象条件下では、地域汚染の影響によって新潟巻の方が佐渡関岬より  $\text{nss-SO}_4^{2-}$  濃度が高く、pH は低下すると考えられた。

#### 5 参考文献

- 1) 仁平明, 木立博, 高橋誠幸, 加賀谷秀樹: 宮城県保健環境センター年報, **25**, 72 (2007)
- 2) 全国環境研協議会: 全国環境研会誌, **31**, 3, (2006)
- 3) 村田雄二, 古谷登志, 辻潔, 吉川邦夫: 第 38 回大気

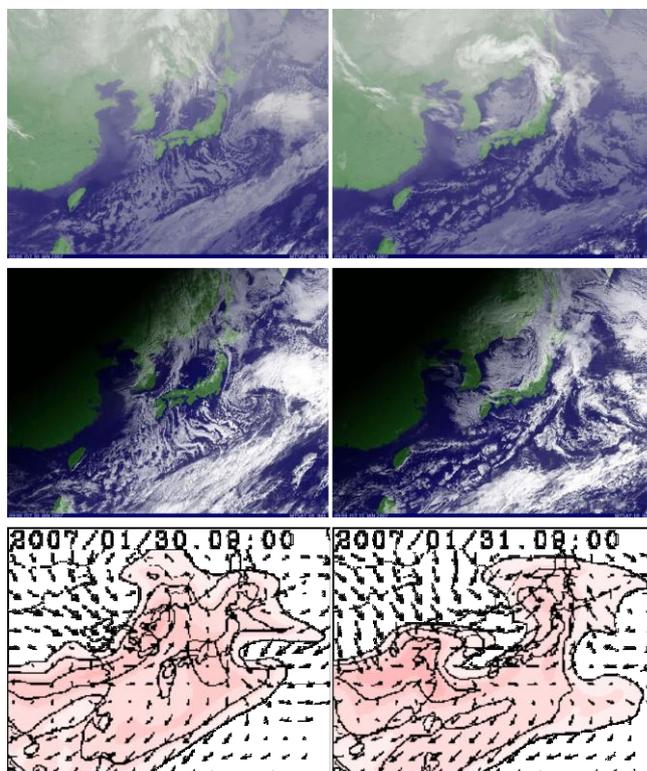


図7 新潟巻のpHが佐渡関岬より低い事例  
2007年1月30日(左列)、31日(右列)、時刻は9時  
上段: 気象衛星赤外画像、中段: 同可視画像、下段:  $\text{SO}_4^{2-}$  濃度分布

環境学会年会講演要旨集, 275 (1997)

- 4) 仁平明, 樫野光永, 中村栄一, 佐久間隆, 木戸一博, 沢田和夫: 宮城県保健環境センター年報, **17**, 90 (1999)
- 5) 仁平明, 高橋誠幸, 中村栄一, 木戸一博: 宮城県保健環境センター年報, **26**, 67 (2008)