

国設八方尾根酸性雨測定所における大気汚染物質濃度の日内変動 — 一日中の上昇気流による麓の汚染の影響 —

中込和徳¹・池田友洋²

国設八方尾根酸性雨測定所における、風向及び大気汚染物質濃度の日内変動パターン等を解析し、谷風による麓の汚染の影響について検討した。主風向は、何れの季節も南東～南南東（谷風の方向）、西北西～北北西（山風の方向）、及び南～南南西の3方向であり、これら3方向で全体の約75%を占めた。谷風の発生は、夏季及び秋季に顕著であり、これらの季節に、麓の影響を受けやすいことが示唆された。大気汚染物質のうち、NO₂、PM₁₀、及びO₃については、広域的な汚染の影響をより強く受けており、日平均値で大陸等からの影響を評価可能であると考えられた。一方、SO₂及びNOについては、谷風による麓の影響が大きいと、日中と夜間等、時間帯を分けて解析し、麓の影響を受けにくい夜間について、大陸等からの影響を評価することが望ましいと考えられた。

キーワード：国設八方尾根酸性雨測定所、谷風、日内変動、窒素酸化物、二酸化硫黄、PM₁₀

1. はじめに

国設八方尾根酸性雨測定所(以下、八方測定所)は、近傍の人為的汚染源の影響を受けにくく、アジア大陸等からの越境大気汚染の影響解明に適した観測地点であることから、国立環境研究所をはじめとした複数の機関と共同で、多くの調査研究が行われてきた^{1)~7)}。一方で、八方測定所は尾根中腹の南東斜面に位置するため、日中、斜面に沿った上昇気流(谷風)により、麓の汚染の影響を受けることが、O₃濃度の日内変動パターンの解析結果から指摘されており⁸⁾、その影響が懸念されている。

そこで本報では、NO、NO₂、SO₂、PM₁₀、及びO₃の各大気汚染物質について、季節別に日内変動パターンを解析することで、八方測定所における麓の汚染の影響の特長を明らかにし、大陸等から長距離輸送された大気汚染物質の影響を正しく評価する方法について検討した。

2. 調査方法

調査地点である八方測定所(標高1850m)は、

唐松岳八方尾根中腹の南東斜面上に位置し、周辺2kmの範囲内には山荘以外に大気汚染物質の発生源は存在せず、最も近い市街地は東に約5km離れた白馬村(標高700m)である(図1)。八方測定所における大気汚染物質の測定については、NO、NO₂は化学発光法、SO₂は紫外線蛍光法、PM₁₀はβ線吸収法、O₃は紫外線吸収法により、1時間ごと連続測定した。また、麓の汚染の推定に用いた大町局のNO、及びNO₂は、ザルツマン試薬を用いた吸光度法により測定した。

本報では、2004年1月から3年間(PM₁₀については欠測が多いため4年間)の測定結果を解析に用いた。測定データについては、1日当たり4時間を越える欠測がある場合、当該日を欠測日とし、解析から除外した。また、欠測日が月の日数の3/4を超える場合、当該月を欠測月とし、解析から除外した。季節の区分については、3～5月を春季、6～8月を夏季、9～11月を秋季、12～2月を冬季とし、当該季節に欠測月を含む場合は、当該季節全体を解析から除外した。風向又は時刻別の大気汚染物質濃度等の算出にあたっては、特異的な高濃度事象等の影響を避けるため、外れ値の影響を受けにくい中央

1 長野県環境保全研究所 大気環境部 〒380-0944 長野市安茂里米村1978

2 長野県環境保全研究所 循環型社会部 〒380-0944 長野市安茂里米村1978

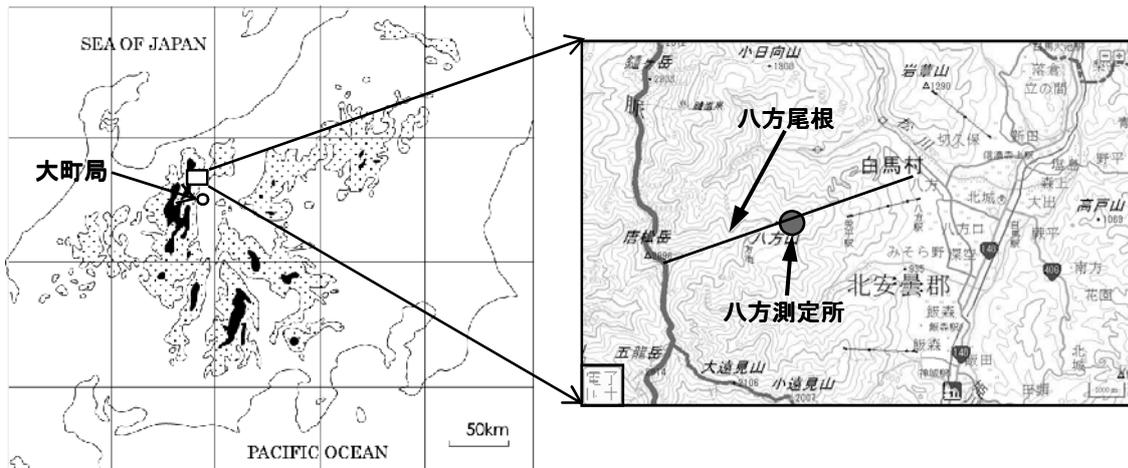


図1 調査地点 (左の広域図中、点で影を付けた範囲は標高 1000 ~ 2000m の地域を、黒塗りの範囲は標高 2000m 以上の地域を表す)

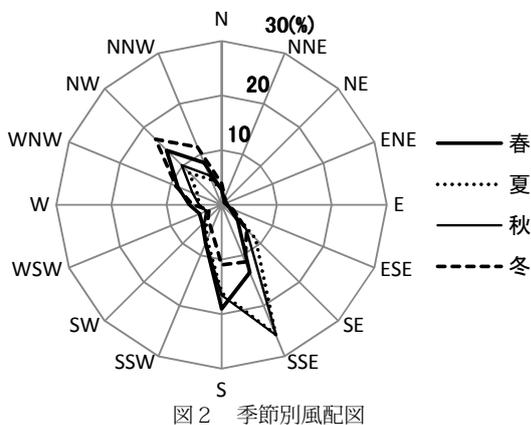


図2 季節別風配図

値を用いた。

3. 結果および考察

3.1 風向の特徴

図2に八方測定所における風配図を、図3に同所における風向範囲毎の出現率の日内変動を、季節別に示した。ここで図は、各年について作成した後、3年分を平均して作成した。図2に示したように、八方測定所における風向は、年間を通して、西北西～北北西(WNW-NNW)及び南東～南南西(SE-SSW)が卓越しており、これらの風向の合計で、全体の約75%を占めた。冬季は両者の割合が同程度であったが、夏季及び秋季は南東～南南西の割合が高かった。

この南東～南南西の風のうち、局舎付近の斜面の方向である南東～南南東(SE-SSE)の風は、夜間に比べ日中の発生頻度が高かった(図3a)。これに対して、南～南南西(S-SSW)の風は、日中に比べ夜間(特に18～24時の夕方から深夜)の発生頻度が高

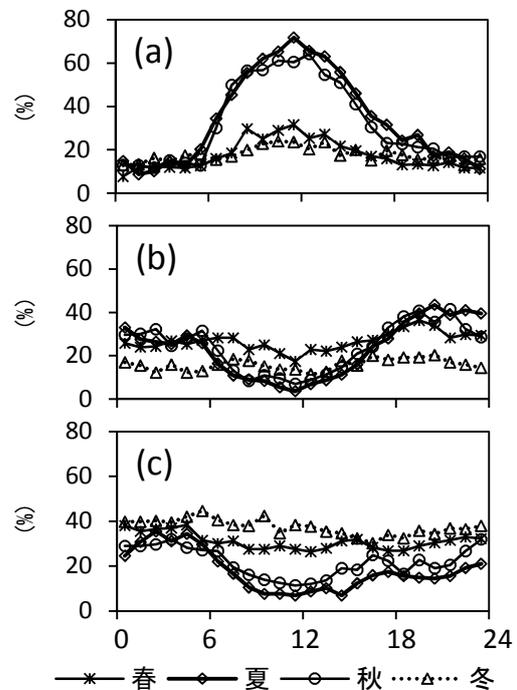


図3 各主風向における出現率の季節別日内変動 (a) :SE-SSE, (b) :S-SSW, (c) :WNW-NNW

く(図3b), 両者の日内変動パターンが異なることから、2つに分けられると考えられた。また西北西～北北西の風についても、日中に比べ夜間(特に0～6時の深夜から早朝)の発生頻度が高かった(図3c)。これらの傾向は夏季及び秋季に顕著であった。

以上のことから、八方測定所における主風向は上記の3方向であり、このうち日中の南東～南南東の風は谷風に、夜間の西北西～北北西の風は山風に対応すると考えられ、八方測定所では夏季及び秋季に、谷風による麓の影響を受けやすいことが唆された。

3.2 風向別風速及び大気汚染物質濃度

上記の3つの主風向における、風速及び大気汚染物質濃度の中央値を表1に示した。ここで中央値

表1 各主風向における風速及び大気汚染物質濃度

| 項目 | SE-SSE | S-SSW | WNW-NNW |
|---------------------------------------|--------|-------|---------|
| 風速 (m/s) | 2.9 | 2.4 | 4.1 |
| NO (ppb) | 0.1 | 0.0 | 0.0 |
| NO ₂ (ppb) | 2.3 | 2.0 | 1.4 |
| SO ₂ (ppb) | 0.4 | 0.4 | 0.2 |
| PM ₁₀ (μg/m ³) | 8.6 | 8.7 | 8.7 |
| O ₃ (ppb) | 56 | 59 | 59 |

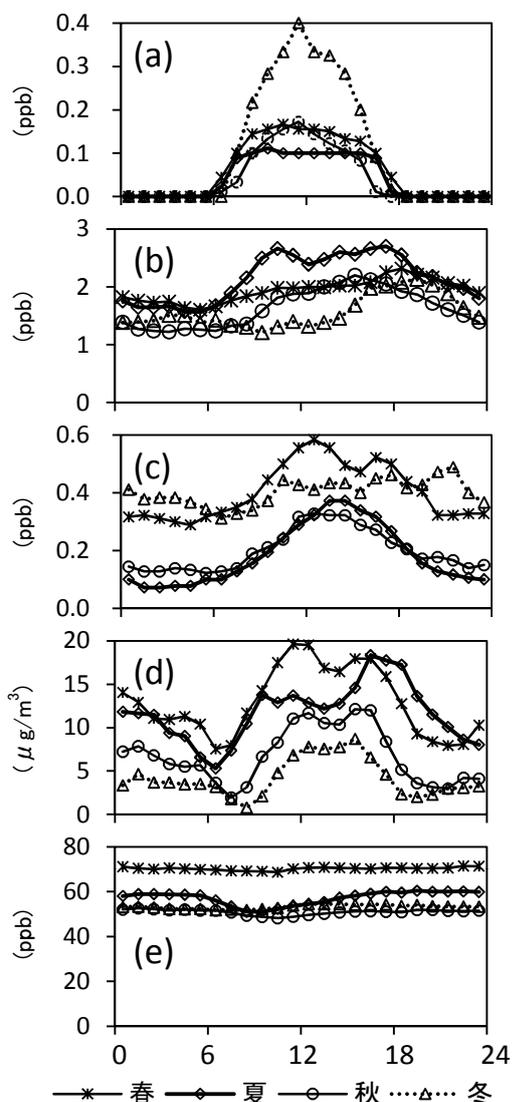


図4 各大気汚染物質濃度の季節別日内変動
(a) :NO, (b) :NO₂, (c) :SO₂, (d) :PM₁₀, (e) :O₃

は、各年、月毎に算出した値を、季節別に平均し、それを3年分 (PM₁₀については4年分) 平均して求めた。風速については、山風の方向である西北西～北北西の風が、他の風向と比較して、やや大きな値を示した。NO、NO₂、及びSO₂については、谷風の方向である南東～南南東の風が、山風の方向である西北西～北北西の風と比較して高い値を示し、麓の汚染の影響が示唆された。O₃については、逆に谷風の方向の濃度がやや低く、八方測定局に比較してO₃濃度が低い⁸⁾麓の大気の影響が示唆された。一方、PM₁₀については、風向による明瞭な濃度差は見られなかった。また南～南南西の風における大気汚染物質濃度については、谷風方向と山風方向における濃度の中間的な値を示した。

3.3 大気汚染物質濃度の日内変動と麓の影響

3.3.1 日内変動パターン

図4に八方測定所における各大気汚染物質濃度の日内変動を示した。ここで大気汚染物質濃度は、各年、月毎に算出した中央値を、季節別に平均し、それを3年分 (PM₁₀については4年分) 平均して求めた。

NOについては、何れの季節も日中に明瞭な濃度上昇を示し、その量は夏季に小さく、冬季に大きい傾向が見られた (図4a)。NOは大気中での寿命が短く⁹⁾、八方測定所における夜間の濃度がほぼ0であったことから、麓の影響を強く受けていると考えられた。

NO₂については、夏季及び秋季は日中から深夜にかけて、冬季は夕方から深夜にかけて濃度上昇を示したが、春季の濃度変動は不明瞭であった (図4b)。その量は、夏季から秋季に大きく、冬季から春季に小さい傾向が見られた。NO₂はNOと比較して寿命が長く⁹⁾、何れの季節も、山風が吹き広域的な汚染を代表していると考えられる、深夜～早朝の濃度が約1.5ppbであった。表2に示すように、この時間帯の平均濃度に対する日平均濃度の比が、1.1～1.3の範囲であったことから、麓の影響は相対的に小さく、広域的な汚染の影響をより強く受けていると考えられた。

SO₂については、春季から秋季は、日中から夜のはじめ頃にかけて明瞭な濃度上昇を示したが、冬季の濃度変動は不明瞭であった (図4c)。深夜～早朝の濃度は、冬季から春季に高く、夏季から秋季に低くなる季節変動を示した。深夜～早朝の平均値に対

表2 大気汚染物質濃度の深夜～早朝の平均値に対する日平均値の比

| 項目 | 春 | 夏 | 秋 | 冬 |
|------------------|------|-----|-----|-----|
| NO | >100 | | | |
| NO ₂ | 1.1 | 1.3 | 1.3 | 1.1 |
| SO ₂ | 1.3 | 2.2 | 1.5 | 1.1 |
| PM ₁₀ | 1.1 | 1.2 | 1.0 | 1.1 |
| O ₃ | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |

する日平均値の比は、冬季から春季は1.1～1.3とやや小さく(表2)、大陸からの影響を含む広域的な汚染の影響が示唆されたが、夏季から秋季は1.5～2.2とやや大きく、麓の影響が大きいと考えられた。

PM₁₀については、何れの季節も、日中から夜のはじめ頃にかけて濃度上昇を示した(図4d)。深夜～早朝の濃度は、春季から夏季に高く、秋季から冬季に低くなる季節変動を示した。深夜～早朝の平均値に対する日平均値の比は、何れの季節も1.0～1.2の範囲内であり(表2)、大陸からの影響を含む広域的な汚染の影響をより強く受けていると考えられた。

O₃については、夏季と秋季は、日中に濃度低下が見られたが、冬季と春季の濃度変動は不明瞭であった(図4e)。深夜～早朝の濃度は春季に高く、秋季と冬季にやや低い値を示した。深夜～早朝の平均値に対する日平均値の比が、何れの季節も1.0であった(表2)ことから、大陸からの影響を含む広域的な汚染の影響をより強く受けていると考えられた。

図4b,cに見られるように、NO₂、及びSO₂については、夕方～深夜の濃度が深夜～早朝の濃度に比べて、やや高い値を示したが、これは、表1に示したように、夕方～深夜の主風向である南～南南西の風における濃度が、深夜～早朝の主風向である西北西～北北西の風の濃度より高いことに対応していた。

3.3.2 八方測定所周辺大気への麓の大気の混合率

図5に示すように八方測定所における日中の大気は、同所における深夜～早朝の大気と、谷風によって運ばれた麓の大気とが混合したものであると考えられる。前節において、八方測定所への麓の影響の評価に用いた、同所における深夜～早朝の平均濃度と日平均濃度との比は、一般に大気汚染物質の種類によって値が異なる。これに対して、図5に示される混合率は、原理的に大気汚染物質の種類に依存しない量である。

一般に、大気中のガス成分については、濃度C₁

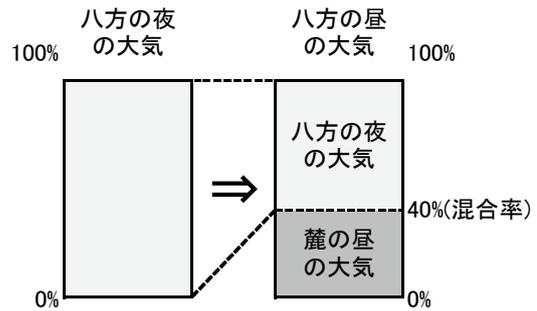


図5 八方測定所周辺大気への麓の大気の混合率の模式図(混合率40%の例)

(ppb)の大気M₁(mol)と、濃度C₂(ppb)の大気M₂(mol)とを混合した場合、その濃度C_m(ppb)は次式のとおりとなる。

$$C_m \text{ (ppb)} = \frac{C_1 \times M_1 + C_2 \times M_2}{M_1 + M_2}$$

ここで、右辺の分母は混合大気の全体量(mol)に、分子はガス成分の全体量(mol)になる。この式は次式のように変形でき、左辺は濃度C₂の大気の混合率である。

$$\frac{M_2}{M_1 + M_2} = \frac{C_m - C_1}{C_2 - C_1}$$

そこで、この式の右辺のC₁及びC_mに、八方測定所における深夜～早朝及び日中の平均濃度を、C₂に麓における日中の平均濃度を代入することで、麓の大気の八方測定所への混合率を見積もることが出来る。

混合率の算出に用いる大気汚染物質としては、麓と八方測定所とで濃度差が大きいととも、移流過程における保存性が高く、八方測定所における測定値と比較可能な平地での測定値が、周辺局で得られる物質が望ましいことから、NO_x(NOとNO₂の合計)を選定した。

麓の測定値としては、本来、白馬村市街地における測定値を用いるべきであるが、同村内での測定データが無いため、最も近い大気常時監視測定局である、大町局(図1)の値を用いた。ただし、大町局の位置する大町市は、白馬村の南に約20km離れ、人口規模も約3倍大きく、白馬村とは少なからず

条件が異なるため、ここでは混合率の絶対値ではなく、夏季と冬季の相対的な差異について主に検討した。その結果、麓の大気の方角測定所への混合率は、夏季に大きく、冬季に小さい傾向がみられ、3.1節における風向の解析から示された傾向と一致していた。

4. まとめ

八方測定所における風向の特徴及び大気汚染物質濃度等の季節別日内変動パターンから、同所における麓の影響について検討し以下の結果を得た。

- (1) 主風向は、何れの季節も、谷風の方向である南東～南南東、山風の方向である西北西～北北西、及びこれらの中に位置する南～南南西の3方向であり、全体の約75%を占めた。
- (2) 夏季及び秋季に、谷風による麓の影響を受けやすいことが示唆された。
- (3) NO_2 , PM_{10} , 及び O_3 については、広域的な汚染の影響が相対的に強く、日平均値で大陸等からの影響を評価可能であると考えられた。
- (4) 一方、 SO_2 及び NO については、麓の影響が相対的に強く、この影響を避けるため、日中と夜間等、時間帯を分けて解析し、麓の影響を受けにくい時間帯について、大陸等からの影響を評価することが望ましいと考えられた。

以上のことから、今後、八方測定所で大気汚染物質の調査を実施する際には、麓の影響の評価および除外が可能なように、適切な時間帯に区切って、試料採取等を実施することが望ましいと考えられた。

文 献

- 1) 薩摩林光 (2007) 中部山岳地域における大気中

の長距離輸送と火山ガスによる環境影響一、長酸性・酸化性物質の挙動一粒子状二次生成物質
長野県環境保全研究所研究報告, 3: 1-20.

- 2) 中込和徳・鹿角孝男 (2009) 八方尾根におけるエアロゾルの長期観測, エアロゾル研究, 24 (2): 117-122.
- 3) 薩摩林光・川村 實・鹿角孝男・西沢 宏・二木克己・村野健太郎・植田洋匡 (2002) 中部山岳地域における大気中エアロゾル成分濃度の季節変動, 長野県衛生公害研究所研究報告, 25: 1-9.
- 4) 植田洋匡・薩摩林光・梶野瑞王 (2003) 三宅島火山噴火による中部日本のエアロゾルと降水の変化, 京都大学防災研究所年報, 46 (B): 487-502.
- 5) 梶野瑞王・植田洋匡・An Junling・薩摩林光 (2003) 対流圏水溶性エアロゾルの挙動一数值モデルと三宅島噴火の事例解析一, 京都大学防災研究所年報, 46 (B): 503-515.
- 6) Kajino, M., Ueda, H., Satsumabayashi, H. and An, J. (2004) Impacts of the eruption of Miyakejima volcano on air quality over far East Asia, J. Geophys. Res., 109, D21204.
- 7) Nakagomi, K., Katsuno, T., Kawamura, M., Mukai, H. and Murano, K. (2005) Lead isotope ratios in precipitation at Mt. Happo, Central Japan, and trans-boundary air pollution, Proc. of 11th International Joint Seminar on Regional Deposition Processes in the Atmosphere, 133-137.
- 8) 栗田秀實・内田英夫・光本茂記・植田洋匡・溝口次夫 (1989) 中部山岳地域におけるバックグラウンドオゾン濃度, 国立公害研究所研究報告, 123: 145-163.
- 9) 秋元肇・河村公隆・中澤高清・鷺田伸明 編 (2002) 対流圏大気の化学と地球環境, 学会出版センター, pp75-87.

Diurnal variation of air pollutants concentration at Happo-one
national acid deposition observation site
— Influences of regional air pollution by valley wind —

Kazunori NAKAGOMI¹ and Tomohiro IKEDA²

- 1 *Nagano Environmental Conservation Research Institute, Atmospheric Environment Division,
1978 Komemura, Amori, Nagano 380-0944, Japan*
- 2 *Nagano Environmental Conservation Research Institute, Recycling Society Division,
1978 Komemura, Amori, Nagano 380-0944, Japan*