

40. 福井における酸性降下物性質推定の信頼性について

COMPARISON OF ESTIMATED AND OBSERVED ACID DEPOSITION AT FUKUI

井上 頼輝 *

Yoriteru Inoue *

ABSTRACT ; Two major sources of acid deposition are SO_2 and NO_x . These are oxidized in the air to Sulfuric Acid and Nitric Acid. From Akimoto et al's⁵⁾ data on the generation of SO_2 and NO_x in Eastern Asia, amount of acid deposition and concentration of SO_2 and NO_x in the air at Fukui were estimated and compared with observed values. Observed SO_2 and NO_x are higher than that of estimated, especially NO_x concentration is about one order high. This may due to many assumptions used for estimation. Further study will be focused on this discrepancy between observed and estimated values.

KEY WORDS ; acid rain, sources of acid deposition

1. はじめに

酸性降下物原因物質の主要成分は硫黄酸化物 (SO_2) と窒素酸化物 (NO_x) である。環境省¹⁾によると、わが国酸性雨中の硫黄酸化物 (硫酸) と窒素酸化物 (硝酸) はモル比で約 3 : 1 であり、硫黄酸化物主体であるが、窒素酸化物も無視することはできない。前々報²⁾において、酸性降下物原因物質のひとつである硫黄酸化物の由来を、天然発生源である火山の影響も含めて検討した。その結果、福井における酸性降下物に占める中国の寄与は大きい、気団が朝鮮半島を通って来るときは半島の影響も無視できない。夏期は気団が南海上から来るために国内発生源の寄与が 100% を占める日が多い。天然の SO_2 発生源である火山、ことに九州に位置する桜島・阿蘇・諏訪之瀬島などの影響は、最大で全負荷の 1/3 を占めることがある。しかし火山の影響は風向きに大きく左右されるので、福井がその影響を受けるのは年間数日に過ぎないことを知った。酸性降下物のあと一つの主要原因物質は窒素酸化物 (NO_x) である。前報³⁾において東アジア各国が排出する NO_x が福井の酸性降下物に占める割合を求めた。 NO_x については SO_2 の火山のように自然の大きな発生源はない。 SO_2 の場合と比較しやすいように、計算方法はなるべく前々報で使用した方法を用いた。その結果、各日における福井の降下物に占める各国の酸性降下物原因物質の割合は SO_2 の場合と似たパターンを示すことを知った。地上における SO_2 と NO_x の濃度は各府県環境センターなどで実測されており、独立法人環境研究所⁴⁾から公表されている。この数値を前々報²⁾および前報³⁾で求めた SO_2 と NO_x の推定値と比較し、推定の精度を検証した。

2. 推定の方法

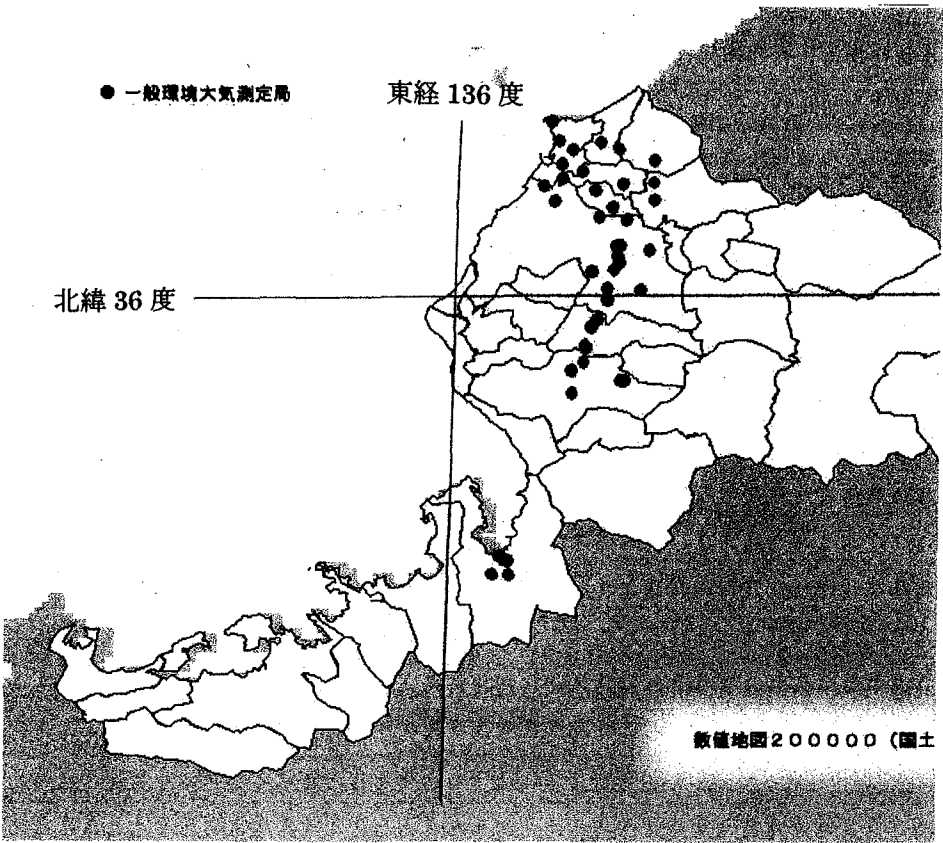
推定は秋元等⁵⁾の SO_2 と NO_x の負荷発生量をもとにして、Eliassen⁶⁾が OECD モデルで用いた拡散移流の計算式によって SO_2 , SO_4 と NO_x , NO_3 の濃度を求めた。秋元等は東アジアを東経 1 度、北緯 1 度ごとの

* 福井工業大学 建設工学科 Dept. of Construction Engineering, Fukui Institute of Technology

表一1 1993年 No_x濃度の実測値(ppb)

測定位置	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
氷見	13	11	9	7	5	8	5	6	8	11	14	13
高岡戸出	21	15	19	13	11	12	11	12	16	17	24	23
富高岡浪岡	27	20	17	13	10	13	10	11	15	17	26	23
礪波	16	10	14	10	9	10	10	9	12	12	16	14
小矢部	22	18	19	13	12	13	13	15	17	19	25	24
山福野	14	11	11	9	8	10	10	8	9	9	14	13
福岡	15	11	10	7	6	9	7	8	10	11	17	15
三馬	11	15	15	13	11	12	12	12	13	14	18	18
金沢港	27	24	32	23	19	19	19	21	28	31	33	32
金沢広坂	24	23	26	19	16	17	18	19	22	26	30	29
石金沢大気	26	19	25	17	15	17	17	17	16	17	19	23
金沢畝田	25	19	27	20	15	18	17	16	21	24	30	29
金沢西南部	37	33	35	25	19	19	21	21	30	32	38	44
金沢額	13	10	12	10	9	9	9	9	10	11	15	14
金沢小立野	17	15	15	13	11	11	10	10	11	11	16	15
金沢千坂	24	21	29	18	16	16	17	18	19	22	25	26
金沢瓢箪	25	22	21	15	12	13	13	13	15	16	22	24
七尾徳田	9	5	7	4	4	4	4	4	5	6	7	10
川小松	31	26	28	22	17	17	20	19	23	27	35	29
大聖寺	31	28	34	27	25	24	26	25	32	39	48	39
山代	35	28	29	23	21	22	24	26	29	33	35	33
羽咋	9	8	10	8	6	6	7	8	9	9	11	13
松任	23	17	22	16	15	15	18	18	21	22	27	20
根上	18	14	18	17	14	17	16	17	17	18	25	18
美川	15	14	17	15	13	15	16	16	18	16	20	16
津幡	21	19	20	14	11	10	12	11	16	18	23	21
内灘	19	16	21	15	10	9	10	11	17	19	23	23
鳥屋	11	8	9	6	5	5	5	5	7	9	10	11
鹿島	5	4	5	4	4	4	3	4	4	5	6	6
福井鶴	6	5	5	4	3	3	4	4	5	4	7	5
福井	33	25	24	21	15	15	16	15	23	25	28	31
福井センター	27	19	21	17	11	11	14	13	21	26	31	31
福井順化	38	29	26	21	19	18	20	19	26	31	39	38
福井大宮	38	27	27	21	14	14	16	15	24	27	38	37
福井石盛	29	20	21	18	12	12	14	13	26	26	34	30
福井河合	18	12	12	10	7	7	8	7	11	13	19	17
福井今市	46	36	37	31	23	19	23	24	36	47	59	47
福井社	31	23	19	13	9	10	12	11	15	19	27	31
三国	12	9	11	9	7	6	8	7	11	11	17	11
三国南	15	12	14	11	8	7	8	7	13	14	19	14
三国宿	11	9	9	8	5	5	7	7	10	12	17	12
三国浜四郷	9	7	7	5	3	4	7	6	9	9	13	10
井三国安島	7	5	5	5	4	4	5	5	7	7	10	6
芦原	18	15	15	13	10	8	10	10	14	15	19	16
金津	19	13	15	13	10	10	11	10	14	15	22	18
丸岡	23	15	16	14	11	12	13	12	19	19	22	20
春江	17	12	12	10	6	6	8	7	13	14	20	16
坂井	18	12	11	11	8	7	8	8	14	15	11	12
平均濃度	20.81	16.44	17.98	13.98	11.13	11.5	12.33	12.27	16.27	18.13	23	21.25

meshに切り、
各 meshにお
ける燃料消
費量にSO₂
とNO_xの産
出原単位を
掛け、さら
に除去率を
考慮して発
生量を求め
ている。産
出原単位は
SO₂の方が
NO_xより大
きいために、
SO₂の産出
量が多い。
しかしSO₂
の除去は
NO_xのそれ
に比べて容
易なので、
わが国のよ
うに公害防



http://www.nies.go.jp/igreen/air/data/map18_a.html より

図—1 福井県 大気環境常時監視測定局位置

止技術が発達した国ではSO₂の負荷発生量はNO_xのそれと同程度か、または下回っている。高度の除去技術があまり導入されておらず、しかも硫黄を多く含む石炭をエネルギー源としている中国などではSO₂の負荷発生量がNO_xの数倍に達する所もある。EliassenのOECD modelはあるGrid(本論文では秋元等⁵⁾の推定にあわせて緯度一度、経度一度に取った)と混合層(Eliassen⁶⁾にならって1000mに取った)で作るbox内で空気が完全混合しながら移動するとする一種のbox modelである。Box内ではSO₂とNO_xは半減期数日のゆっくりとした速度で硫酸と硝酸に酸化されるとともに乾性降下物と雨や雪の湿性降下物として地上に降下し、大気中より取り除かれる。降下地点は大気の移動のために発生地点から数百kmから千数百km離れることが多い。SO₂が硫酸に酸化される過程はEllenton等⁷⁾の研究を参考に時間の指数関数で表した。NO_xが硝酸に酸化される過程はSO₂よりはるかに複雑である。光化学反応を含むので反応の進み具合が昼と夜とでは異なる。ここではBradzinsky⁸⁾の研究をもとに硝酸の量を求めた。

表—2 NO_xとSO₂濃度の推定値と実測値の比較

NOX	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均
推測値	1.06	1.19	0.88	0.83	1.37	3.48	1.75	1.95	1.52	1.51	4.48	1.02	1.75
実測値	20.81	16.44	17.98	13.98	11.13	11.50	12.33	12.27	16.27	18.13	23.00	21.25	16.26
SO ₂	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	
推測値	0.93	1.10	2.88	0.94	0.74	0.73	1.00	0.99	0.83	1.04	1.07	1.02	1.11
実測値	4.23	4.35	4.73	4.56	4.29	3.88	3.56	3.23	3.60	3.77	4.17	3.96	4.03

3. 実測値

推定で求めたのは福井を含む東経 136 度から 137 度、北緯 36 度から 37 度の約 100km 平方に 1000m の高さを持つ box 内における平均濃度である。この範囲に入るのは福井県・石川県・富山県・岐阜県の 4 県があり、大気中の SO_2 と NO_x の濃度の測定は各県の環境センター等で行われている。その結果は独立法人環境研究所データベースとして公表され、財団法人環境情報普及センターより磁気媒体として販売されている。実測点の位置はたとえば福井県について図-1 に示す。これらの測定点はいずれも都市部に位置し、県内を平均的に測定したものではない。このため実測値が推定値よりも大きめに出る可能性があるが、この数値を

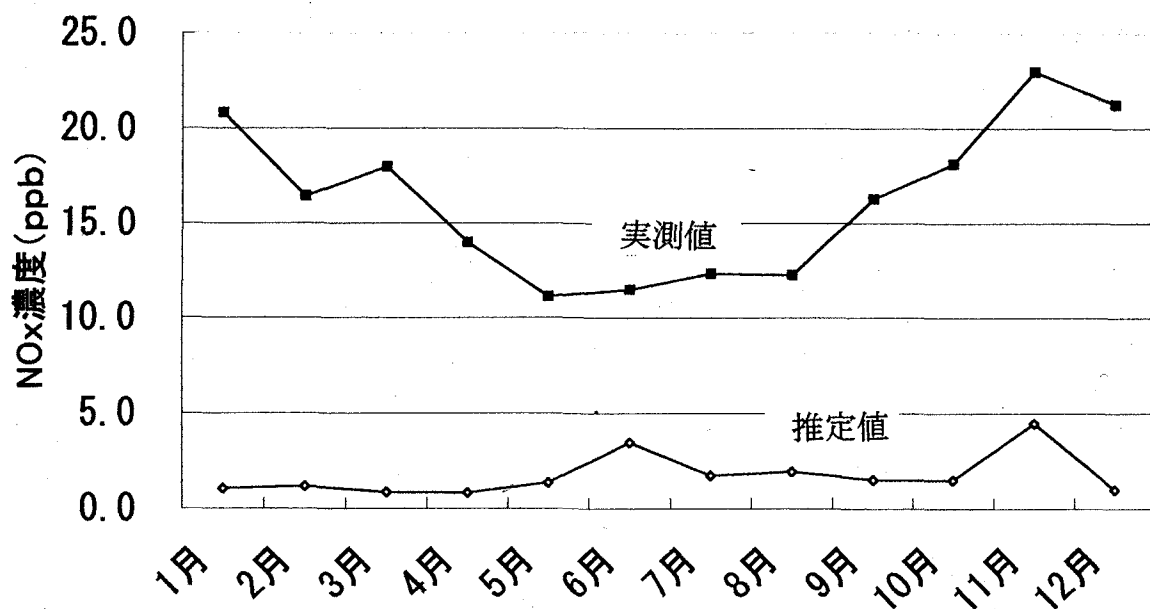


図-2 福井における NO_x 濃度の推定値と実測値の比較

単純平均して実測値として用いることにする。東経 136 度から 137 度、北緯 36 度から 37 度の範囲に入る測定点は福井県が 19 点、石川県が 22 点、富山県が 7 地点、合計 48 地点であり、岐阜県にはこの範囲に入る測定点はない。 NO_x の 1993 年における実測濃度を表-1 に示す。

4. 推定値と実測値の比較

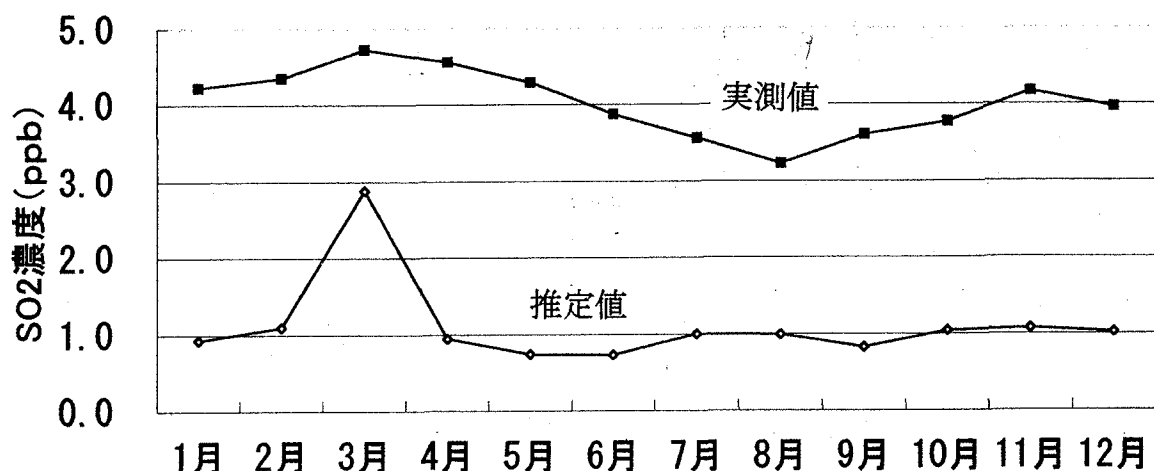
比較は大気中ガス濃度 (SO_2 と NO_x) を用いて行った。観測値は月平均値が与えられているので、推定値も月平均を求め比較した。結果を表-2 に、またこれを NO_x について図-2 に、 SO_2 について図-3 に示した。この結果、 SO_2 は平均で実測値が推定値の 3.6 倍、 NO_x は 9.3 倍となった。窒素酸化物の方が実測値と推定値の差は大きく、約一桁違う。 SO_2 と NO_x の実測値は夏に低くなる傾向があり、これはこの季節に福井に来る気団が発生源のない太平洋上から来るためであろう。同様な傾向はわずかではあるが推定値にも見られる。実測値と推定値が一致しなかった理由としては

実測値：

- ① 推定値は北緯一度、東経一度の約 100km 平方の平均濃度を示すが、測定局の位置が都市部に片寄っているために実測値が高めに出る。
- ② 推定値は高さ 1000m までの平均濃度を与えるが測定は地上で行われるので、高めの数値がでる。

推定値：

- ① 大気混合層の厚さを Eliassen⁶⁾ にならって 1000m に取ったが、これを 270m くらいにとれば SO_2 の実



図一3 福井におけるSO₂濃度の推定値と実測値の比較

測値と推定値はほぼ一致する。この混合層の厚さは季節、気圧配置、風速などに関係して一定でなく、1000m～1500mの間にあると言われる。

- ② SO₂ と NO_xが硫酸、硝酸に酸化される過程がよくわかっていない。ことにNO_xはその化学が複雑で、今後の研究にまっところが多い。Brodzinsky の論文は Sverdrup 等⁹⁾ の chamber 内での化学変化を元にして、大気中については未解明である。
- ③ SO₂ や NO_x が空気中から除去される過程は単純な沈降を考えたが、実際は降雨、大気の安定状態などで変化する。
- ④ 秋元等⁹⁾の与えた SO₂、NO_xの負荷発生量は年間値であり、季節等の時間変動は計算上考慮していない。なお池田等¹⁰⁾は大阪で同様な比較を行っているが、それよりは本論文の精度は劣る。これはパラメーターの取り方によるものであろう。このように推定値と実測値の差が生じる理由はいくつか考えられ、今後この差を少なくするように実測も含めて研究を進めて行きたい。

4. まとめ

秋元等の示した東アジアでの SO₂ と NO_xの負荷発生量を元にして、Eliassen の OECD model を参考に、福井における酸性降下物の量と、大気中 SO₂ と NO_xの濃度を推定し、付近各県の測定している実測値と比較した。その結果、SO₂ については実測値が推定値の約 3.6 倍、NO_x は一桁高い結果が得られた。その原因はいくつか考えられるが、全体として酸性降下物の輸送を捉えているものと考えられ、今後中国を始め東アジアの諸国が経済発展を遂げ、それに伴って酸性降下物の原因物質である SO₂ と NO_xの負荷発生量が増加したとき、どのような被害が福井にもたらされるかを推定するには十分な精度を持っていると考える。本研究は福井工業大学学内特別研究費を用いて行われたものであり、関係方面に謝意を表する。

参考文献

- 1) 環境庁地球環境部：「酸性雨」65 頁、中央法規（1997）
- 2) 井上 頼輝：“福井における酸性降下物への火山の影響” 第七回土木学会地球環境シンポジウム講演論文集 201-206 頁（1999）
- 3) 井上 頼輝：“福井の酸性降下物原因物質への東アジア各国の寄与” 第八回土木学会地球環境シンポジウム講演論文集 265-269 頁（2000）

- 4) 独立法人環境研究所環境情報センター、大気環境月間値・年間値データファイル 1993 年 (2000)
- 5) H. Akimoto and H. Narita : "Distribution of SO₂, NO_x and CO₂ Emission from Fuel Combustion and Industrial Activities in Asia with 1° x1° Resolution", Atmospheric Environment, Vol. 28, pp213-225 (1994)
- 6) A. Eliassen: "The OECD Study of Long Range Transport of Air Pollutants : Long Range Transport Modeling ", Atmospheric Environment, Vol.12 pp 479-487 (1978)
- 7) G. Ellenton, B. Ley and P. K. Misra: "A Trajectory Puff Model of Sulfur Transport for Eastern North America", Atmospheric Environment Vol.19 pp727-737 (1985)
- 8) R. Brodzinsky, B.K.Cantrell, R.M.Endlich and C.M. Bhumralker: "A Long-range Air Pollution Transport Model for Eastern North America II Nitrogen Oxides," Atmospheric Environment, vol.18 pp 2361-2366, (1984)
- 9) G. M. Sverdrup, C. W. Soicer, and M.R. Kuhlman: "Nitrogen Oxide Transformation in Power Plant Plumes" Interim Report RP-1361, Battelle Columbus Laboratories, Columbus, Ohio (1982)
- 10) 池田 有光、東野 晴行、伊原 国生、溝畑 朗: "東アジア地域を対象とした酸性降下物の沈着量推定" 大気環境学会誌 32 巻 116-135 頁 (1997)