

<資料解説>雨水のpHに関する一考察

佐々木, 茂 / SASAKI, Shigeru / 佐藤, 典人 / 沓掛, 延幸 /
KUTSUKAKE, Nobuyuki / SATO, Norihito

(出版者 / Publisher)

法政大学地理学会

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

JOURNAL of THE GEOGRAPHICAL SOCIETY OF HOSEI UNIVERSITY / 法政地理

(巻 / Volume)

17

(開始ページ / Start Page)

39

(終了ページ / End Page)

44

(発行年 / Year)

1989-03-31

雨水の pH に関する一考察

佐々木 茂・佐藤典人・沓掛延幸

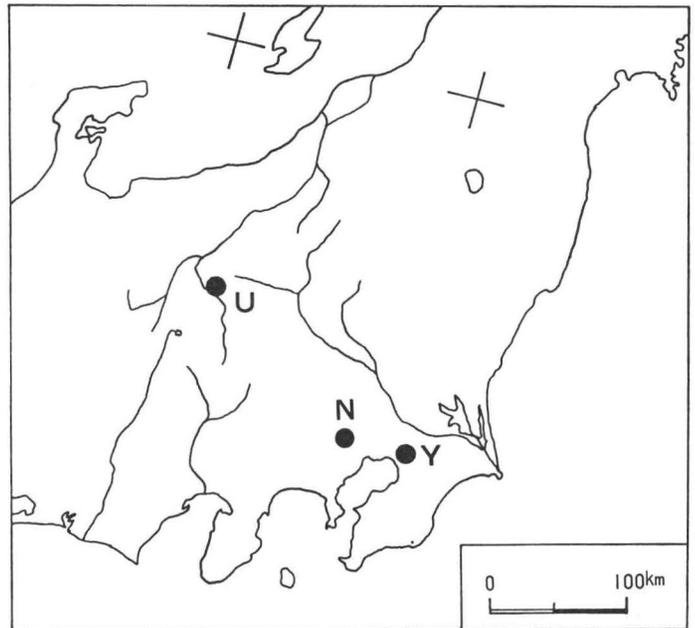
1. 目的と方法

今日、地球上の多くの国々は多量の化石エネルギーを消費している。とりわけ温帯地域に位置する先進諸国でその使用は著しい。この化石エネルギーの燃焼にともない大気中には熱や二酸化炭素をはじめとする多くの物質が放出される。これらの物質の中にはそのままの状態、あるいは雨滴や雪片に取り込まれた形で地表に降下するものがある。近年、国際的に深刻な環境問題となっている雨水の酸性化、すなわち「酸性雨」の根源は大気中の窒素酸化物や硫黄酸化物にあるとされ、それらが雨滴などに取り込まれる過程で変質して地上に落下し、生態系の破壊を招来している。

このような問題は、すでに1950年前後から欧米で発生し、森林、水域、そして土壌などへの被害を惹起するに及んでいた¹⁾。この酸性雨現象が国際的に重大視される理由として、①世界の先進諸国が直接的に係わっていること。②原因となる汚染物質は大気によって運ばれ、広域的汚染を招くこと。③国境と無関係に波及し、国際問題化すること。④従来のいわゆる「公害」と違い、生態系そのものの荒廃という形で被害が生ずることが挙げられる(小島・1988)。近年、わが国においてもこ

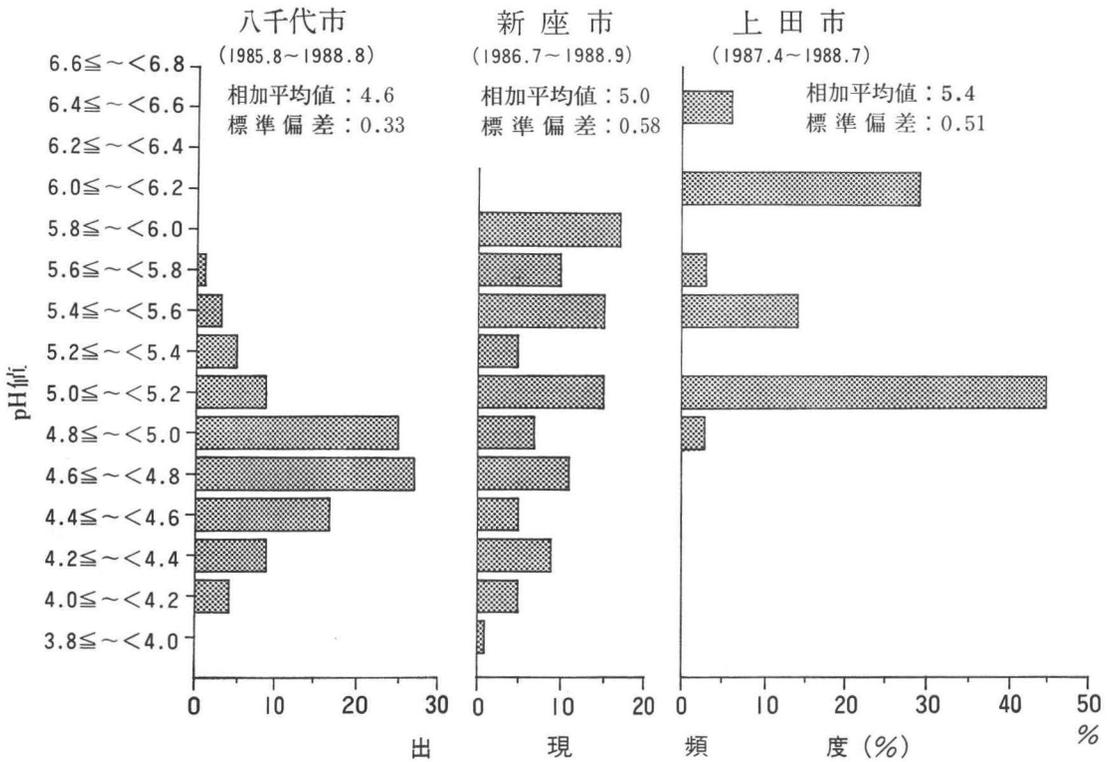
の現象に社会的関心が集まり、その一部がたびたびマスコミに取り挙げられるに至っている。その発端は、1973年6月の静岡、および1974年7月の関東一円における人体や植物への直接的被害であった。また、1981年6月下旬に前橋市で $\text{pH}2.86$ という強酸性雨が降ったこと(関口ほか・1983)を、記憶にとどめている方も多いただろう。ごく最近も赤城山一帯での強い「酸性霧」の発現が報道された²⁾。しかし、この問題の深刻さとは裏腹に、わが国においては統一的方法による、広域的な、か

第1図 調査の地点の位置



(図中 Y : 八千代市, N : 新座市, U : 上田市を各々示す)

第2図 一降水1回のpH測定結果をもとにした地点別出現頻度分布



つ恒常的な雨水の観測網が十分に確立されていないというのが現状である。この現象の性格から考え、早急にその実態を把握して長期的な対策を講ずることが強く求められている時期に来ていることは間違いない。

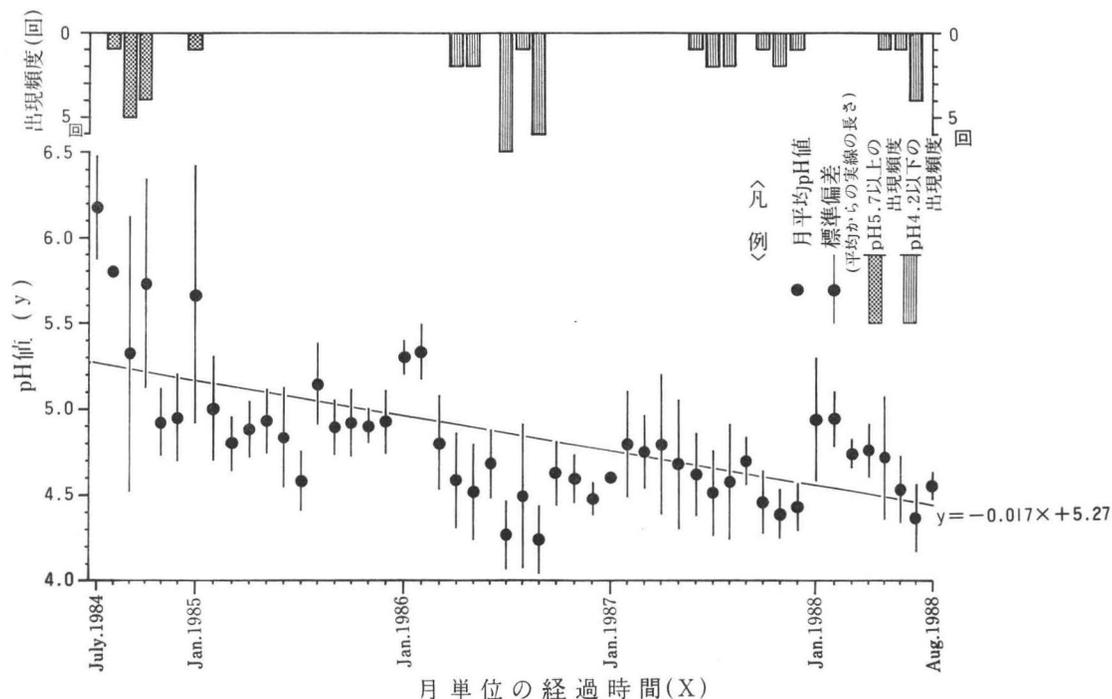
このような現実的背景をふまえて筆者らは1984年以來、雨水のpH値の測定を継続してきており、その一端については本誌14号(1986)に既に報じたとおりである。この研究調査の目的は、①東京湾臨海工業地帯に近接している地域での雨水のpH値を、気候気象学的見地から追究すること。②同一地域における雨水のpH値の経年変化を把握すること、の2点にある。先の拙稿以後、複数地点の測定値が得られたのでここに若干の考察をまじえて報告したい。

ところで、雨水の成分の指標としてpH値を用いることの合理性と妥当性について玉置(1981)は次のように指摘している。すなわち、それは、①

燃焼によって生成されるSO_xやNO_x、あるいはその二次生成物が、おもに酸性の性状を有していること。②動植物に与える総合的な影響。③測定の手軽さ、の点にある。本研究においても、雨水の性質を判断する目安としてこのpH値を採用し、降水発生日に採水を行なって簡易比色法により1日1回測定³⁾した。したがって採取された汚染質はほぼWetによるものだけと判断してよい。当然のことながら、汚染質の雨水への取り込まれかたの相違、つまりRainoutとWashoutを念頭に入ると、大喜多(1977)のように一降水を初期降水と後続のそれとに分離して吟味すべきである。しかし、拙稿(1986)で説明したような理由から、本研究ではその両者を区別して計測はしていない。

本研究における観測地点は、第1図に示したように千葉県八千代市(1984年8月観測開始)、埼玉県新座市(1986年7月観測開始)、長野県上田

第3図 八千代市における pH 値の経月変化と一定値以上および以下の pH 値出現頻度



市（1987年4月観測開始）の3地点である。これら3地点の選定の妥当性に関し、研究目的に掲げている地域から判断して、上田市の距離的遠さがとりわけ疑問視されるかも知れない。ところが、鶴田(1985)や栗田(1986)など⁴⁾は、すでに佐久・上田・長野の盆地に発生する光化学スモッグの源が東京湾岸地区にあることと具体的な事例により解明している。したがって南関東の大気が、日々の気象条件に応じて上記の内陸地域にまで及んでいる⁵⁾ことは十分に予想されることである。ここに本研究で上田市を測定地点として選出し、継続観測している意味がある。

上記の3地点において雨水のpH値の観測を継続するとともに、降水発現の原因を印刷天気図と対照して押さえた。その際に採用した気圧配置型の分類は、吉野・福岡(1967)の結果に依拠した。

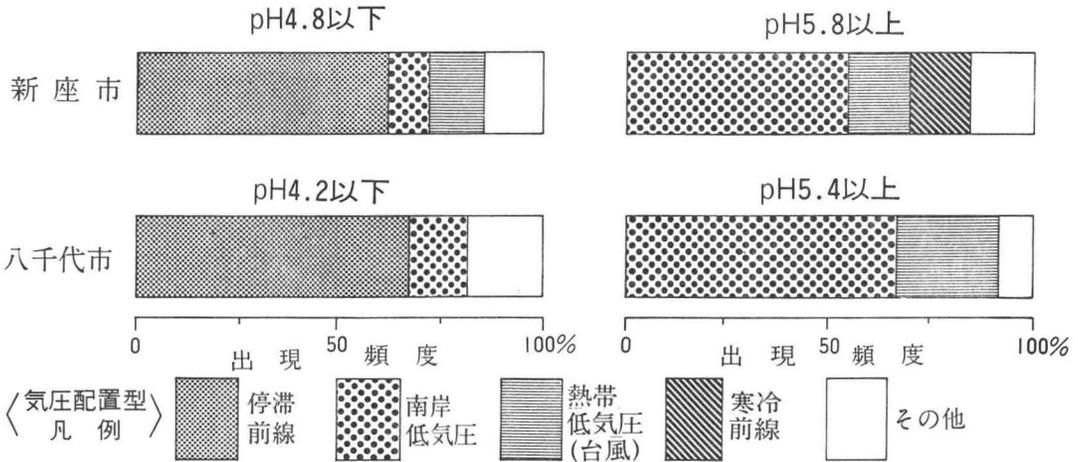
2. 結果

一般に、雨水が大気中の炭酸ガス（平均的濃度を340ppmと想定すると）と反応して平衡を保持

する酸性度は、pH5.6~5.7に相当している。それゆえ、通常このpH5.6未満の雨水が酸性雨と定義されている。この中でもとくに被害をもたらすのはpH4.0以下の強酸性の雨水であると言われている⁶⁾。さらに最近では、雨水の酸性化だけでなく雪も同様の傾向にあり、春季の融雪で急激に汚染質が溶出して生態系に悪影響を与える「アンッド・ショック」現象が報じられている。雨水に限ってみても実際、pH3.0を下回るきわめて低い濃度が1980年代になっていくつかの都市で検出され始めてきている⁷⁾。

本研究では、前述のように扱った観測地点毎に観測継続期間が異なるし、おのずと測定降水の発現回数も違う。八千代市では先の拙稿(1986)で扱った1985年7月までの事例を除外し、それ以後の観測データをおもに整理した。その結果259の測定値が得られた。これに対し、新座市では74、上田市では119のサンプルが各々測定された。これら一降水1回の計測から得られたpH値を地点別相対頻度分布で示したのが第2図である。これに

第4図 新座市と八千代市における一定値以上及びその部門の pH 値の気圧配置型出現頻度



よると八千代市では、pH値4.6~4.8未満に最頻値が現れて正規分布に近似していることがわかる。一方、新座市の場合にはpH値5.0~5.2未満、5.4~5.6未満、5.8~6.0未満などに同程度の極大が存在している。また上田市ではpH値5.0~5.2未満の頻度が圧倒的に高く、6.0~6.2未満の頻度がこれに次いでいる。しかるに新座市と上田市の場合には正規分布しているとはいいがたく、八千代市と比較した場合の標準偏差の値の大きさがその事実を証明している。この内容と先の酸性雨の定義を併慮すれば、八千代市の雨水は恒常的に酸性化していることが示唆されるのに対し、新座市と上田市のそれは酸性雨の範疇に入るものと正常状態のものが混在して出現していると理解できる。この相違が単に汚染質発生源と想定される東京湾臨海工業地帯からの距離的遠近さの反映と見るべきものなのか、あるいは他の内容を暗示しているものなのか興味ある点である。いずれにせよ、新座市の相対頻度分布と3地点の相加平均値の対比からみて、新座市は他の2地点の中間的性格を保有していると推察される。

ところで、3地点のうち最も低濃度を示す八千代市の雨水(相加平均値でpH4.6)の状況は、どのように位置づけられるのだろうか。玉置(1987)によれば、わが国の都市部周辺の雨水のpHは3.0

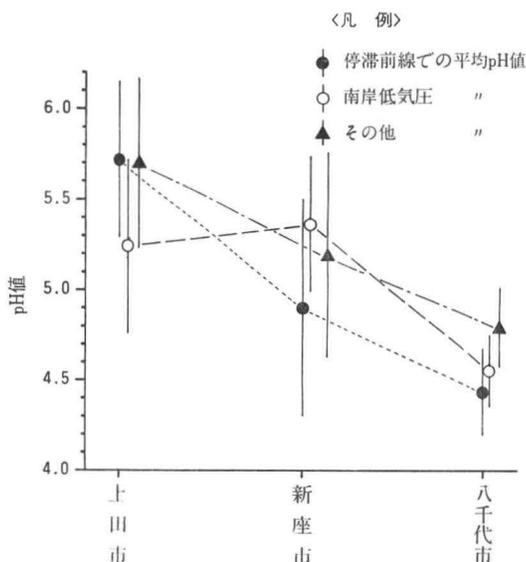
~6.0の範囲に出現し、平均値は4.5に近いと述べている。また、最近 H. Mayer (1988) は西ドイツのミュンヘンで1984~1986の2年間にわたる雨水(295サンプル)のpH値を測定し、最頻値4.7、加重平均値4.6という結果を得ている。八千代市の場合もその善し悪しは別として、ほぼこれらに類似した状況にあると受けとめられる。

つぎに3地点の中でもっとも長期間にわたってpH値の観測をしている八千代市の測定結果を用いて経月変化を吟味した。1984年7月の観測開始以降の月別平均pH値と標準偏差は、第3図に図示したとおりである。さらに、同図にpH値が比較的高い雨水(pH5.7以上)とそれが相対的に低い雨水(pH4.2以下)の月別発生頻度を合わせて示した。この図から①総じて梅雨期や秋霖期を中心とする夏期に低いpH値が、冬期に高いpH値がおのおの出現する季節的周期性を識別できること。②周期性を示しながらも、この4年間で雨水の酸性化が着実に進行しており、求めた回帰直線から1年当りのpH値低下量の割合はおよそ0.2であること。③月別平均pH値の標準偏差は、観測開始当初に大きい値をとったものの、その後はそれほど極端な値を示していないこと。④pH値5.7以上の出現は観測開始当初に限られている反面、pH値4.2以下のそれは夏期に集中していること、などの点が読み

雨水の pH に関する一考察

とれる。先の第2図の内容を想起しつつこの図を見れば、 pH 値の絶対値とその分散から判断し、新座市は八千代市の1984年頃の状況に相当していると言えそうである。つまり明らかに酸性雨と断定できる雨水と比較的正常に近いそれが、混在して発現している段階と見れるからである。とにかくもこれまでわが国においては、雨水の pH 値の季節的变化が不明瞭であった(玉置・1987)だけに、第3図でその変化の周期性が把握できたことは大きな意義を持っている。それというのも絶対値こそ違え、モスクワでは1980年以降の測定記録により、 pH 値が夏期に低く、冬期に高いという本研究の結果を支持する同様の季節变化が指摘されている(I. D. Yeremina et al., 1986)からである。ところで、低い pH 値の雨水は如何なる気象状態のもとで生じているのだろうか。前項で述べたように降水発生日の気圧配置型をすべて検討し、相対的に雨水の pH 値が低い時と高い場合とについて整理してみた。低い値がそれほど頻出していない上田市を除いて、気圧配置型別に相対出現頻度で表したのが第4図である。ただし、 pH 値の高低の基準は八千代市と新座市の場合とで多少異なっている。その根拠は、先に示した双方の地点における平均の pH 値の高低にもとづいている。これによれば、2地点とも非常に似通ったありさまであることが明瞭である。簡潔に申せば、それは停滞前線のもとで低い pH 値を記録しやすいのに対し、南岸低気圧や台風(熱帯低気圧)のもとでは逆の傾向になりがちな面である。これは先の拙稿(1986)での指摘内容とおおむね一致する。これらの気圧配置型から一般的な降水量の多寡を考慮すれば、小雨状態で pH 値は低く、ある程度まとまった降水量で pH 値が高いと言える。この事実は第3図の季節的变化の内容と矛盾はしていない。つまり梅雨や秋霖の時期に pH 値が低くなるのは、停滞前線型の天気が卓越し、小雨状態が持続しやすいことに起因している。実際、台風時の降水や春先の降雪では、低い pH 値が計測されていない。また、南岸低気圧にともなう降水に関しても、その低気圧の中心示度が低くて発達している場合には、 pH 値が高い反面、弱い低気圧で酸性雨を記録

第5図 3地点で同時に降水が発現した気圧配置別 pH 値の比較(図中の縦の実線の長さは標準偏差を各々示している)



していることは、上述の内容と整合するものである。換言すれば、降水の降りかたが pH 値を大きく左右しているように見受けられる。かくして、先にふれた赤城山の強い酸性霧の発生にも、それが小雨に酷似していることから、違和感を抱くことはない。

ここで3地点の同時性について触れてみたい。卓越するおもな気圧配置型のもとで同時に発生した雨水の pH 値のみを抽出して、気圧配置型別に処理し第5図に示した。停滞前線による降水では、東京湾岸からの距離に比例して pH 値が高くなるのが目につく。この気圧配置型では風速が小さい傾向にあるので、汚染源から汚染質が拡散・運搬されにくいことの現れと推察した。しかし、南岸低気圧に伴う降水では、上田市の pH 値が新座市のそれよりも低い。この変化傾向の意味する内容に関し現時点では明言できる段階にない。

このような気圧配置型と雨水の pH 値との対応からみて、激しい擾乱による悪天よりもむしろ風速が小さい曇雨天の際に強い酸性雨が発生しやすいと判断しうる。したがって雨水の酸性化には、汚染質の拡散に関連すると予想される風速の大小、雨滴の形成高度とその成長過程、ならびに落下中

の分裂と汚染質の取り込まれ方などが大いに係わっていると筆者らは想定している。この点の解明には、降水発生時に雲海内まで及ぶ垂直高度別雨水の捕獲とそのpH値の測定が必須になる。これには観測技術上の困難が伴うとすれば、富士山のような独立峰を代用して垂直的観測を実施することで、ひとつの足がかりを掴むことが現実的かも知れない。今後、この点も含め、広域的な調査研究を気候学的視点から進めていきたい。

謝 辞

本研究の基礎となる雨水のpH値測定には、佐々木貞さんをはじめとする方々のご協力を得たので、この場を借りて謝意を表する。

注 記

- 1) G. E. Likens & F. H. Bormann (1974) : Acid Rain. A serious Regional Environmental Problem. *Science*, 184, pp 1176~1179
G. E. likens et al., (1979) : Acid Rain. *Scientific American*, 241-4, pp43~51
- 2) 1988年9月18日の東京新聞・朝刊に「赤城山の標高1,400 m地点の霧滴からpH 3 前後の値が検出」という国立公害研の調査結果が載っている。
- 3) 測定値の読み取りは、簡易比色法に内在する誤差を想定し、0.1毎に行なった。
- 4) 1985年度日本気象学会秋季大会や1986年度同春季大会において、東京湾岸からの汚染物質の輸送過程に関して研究結果を発表している。
- 5) 1988年7月28日の秋田魁新報・夕刊に「上田や長野の盆地で夜間にナイトスモッグが発生する原因と仕組み」についてが報じられている。
- 6) 玉置元則(1987)が「わが国における酸性雨問題」と題する報文の中で述べている。
- 7) 前掲6)に同じ。

参考文献

- 内嶋善兵衛(1988) : 酸性雨と日本, *科学*, 58-7, pp. 444~448
- 大喜多敏一(1977) : 湿性大気汚染・酸性雨, 公害と対策, 13-7, pp. 732~750
- 栗田秀実ほか(1986) : 沿岸地域から内陸の山岳地域への大気汚染物質の輸送および変質過程, *日本気象学会1986年度春季大会講演予稿集*, 49, pp. 82
- 小島 覚(1988) : 酸性雨と森林生態系, *水*, 30-4, pp. 29~34
- 佐々木茂・佐藤典人(1986) : 八千代市における雨水のpHについて, *法政地理*, 14, pp. 69~72
- 関口恭一ほか(1983) : 前橋市に降ったpH2.86の雨について, *大気汚染学会誌*, 18-1, pp. 1~7
- 玉置元則(1981) : 雨水の酸性化と気体状HNO₃, *化学と工業*, 34, pp. 877~878
- 玉置元則ほか(1985) : 大気中の窒素酸化物による雨水の質的变化, *大気汚染学会誌*, 20-2, pp. 71~81
- 玉置元則(1987) : わが国における酸性雨問題, *水*, 29-12, pp. 26-34
- 鶴田治雄(1985) : 沿岸地域から佐久・上田盆地への光化学汚染気塊の輸送過程と局地風系, *日本気象学会1985年度秋季大会講演予稿集*, 48, pp. 27
- 松本光弘・板野龍光(1985) : 雨水成分の統計的解析, *大気汚染学会誌*, 20-1, pp. 12~22
- 吉野正敏・福岡義隆(1967) : 半旭別の気圧配置ごよみ, *天気*, 14-7, pp. 250~255
- H. Mayer(1988) : Der pH-Wert und die elektrische Leitfähigkeit des Niederschlags in Munchen, *Meteorol. Rdsch.*, 41-1, pp. 1~7
- I. D. Yeremina et al., (1986) : Acidity of precipitation and wind direction. *Soviet Geography*, 27, pp. 456~460