

汚染の指標としての大気電気要素*

—日本気象学会藤原賞受賞記念講演—

嶋 山 久 尚**

要 旨

大気の自然的あるいは人為的汚染が大気電気伝導率や電位傾度に著しい影響を与えることは古くから気付かれていたことである。本講演ではまず汚染がどのような物理的過程によって大気電気要素に影響を与えるかを考え、大都市の大気電位傾度の日変化、大気下層にある交換層、核爆発実験、機関車の煙等に関連した電位傾度の変化、また小都市郊外および全地球的な海洋上の電気伝導率の変化について述べた。

1. 洋式浴室内での大気電気現象

日本に何回も来たことのある Pierce (1966) は、イギリス気象学会の雑誌“Weather”に“*Atmospheric Electricity in a Typical American Bathroom*”と題する一文を寄稿している。まずこれを紹介しておこう。

第1図に示したのは、浴槽の中にシャワーで冷水や温水を注ぎこんだ時、部屋の中の電場がどのように変化するかを、フィールド・ミル（回転集電器）で記録したものである。フィールド・ミルは床の上に置いたり、浴槽の縁に置いたりした。実線の曲線は冷水の場合であるが、この時はシャワーを注ぎ込んでいる間、電場は負に大きくなり、シャワーを止めると、その値は次第に小さくなり零に近づいてゆく。これはいわゆるレナード効果（滝効果）によって、分裂した水滴は正電気を持ち、空気中に負イオンが出てゆくことで説明できる。温水の場合は破線で示してあるが、この時は浴室内に湯気が充満し、壁にも露がつく。その影響で実線とはちがった曲線になっているが、それを補正すれば、実線とよく似た曲線になると言う。

浴室の中には浴槽と洗面台と便器があるのだが、第2図に示したのは、お隣の部屋で、カクテル・パーティーが催された時に、この浴室の床に置いたフィールド・ミルが記録した電場変化である。この時は浴槽やシャワーは誰も使わなかったのであるが、この部屋に人がはいりこむごとに電場変化を記録している。その電場変化は化繊の敷物の上を人が歩き回るだけでも起こるのである

し、また一番大きい変化は、ある女性の腰に達する毛髪をくしげずる時に一致していた。しかし個々の過渡的変化について一致を求めることは、慎み深いことでもないし、礼儀にかなうことでもないから、今はしないと述べている。

ここに記したのは、浴室内における人間活動が、その電場にどのような変動を与えたかという一例であった。近頃環境保全がやかましく言われるに従い、人為的な汚染の指標として、大気電気要素が新しく登場しつつあるように見える。今日はこういう観点から、大気電場や電気伝導率を見直してみたい。

2. 汚染と大気電場、電気伝導率との関係

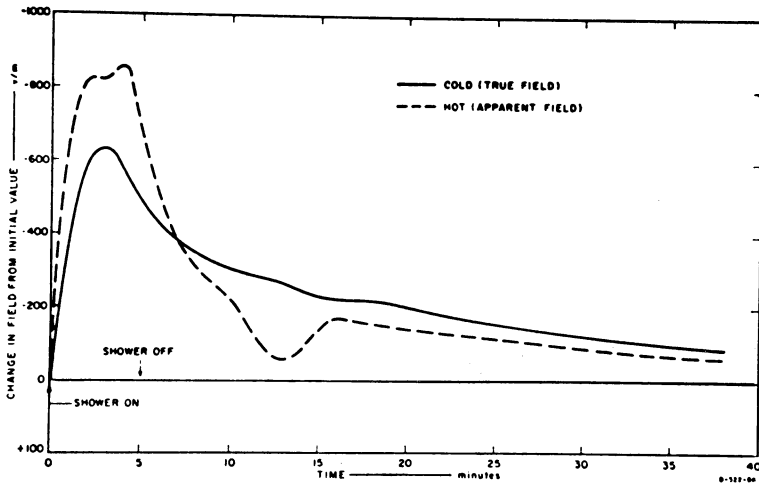
(1) 微粒子性大気汚染（エアロゾル汚染）が大イオン数を増し、小イオン数を減らし、電気伝導率を小さくし、気柱抵抗を大きくするという物理的過程で、電位傾度を大きくする。だから大気汚染との関係を見る場合には、電場よりも電気伝導率を使う方が一層直接的なのである。しかし大気電気の観測の方では、電場の連続観測は多いが、電気伝導率の観測は特別の場合にしかない。

(2) また自然あるいは人工放射性物質が大気中に持ち来されると、大気は電離され、その電気伝導率は大きくなる。これを電位傾度の観測で見ていると、それが小さくなる。風あるいは気圧の変化で、土地の中から放射性物質が吸い出されて空気中に移り、そのために大気電気伝導率の変化、あるいは電位傾度の変化が起こることは、すでに古くに論じられた所である。

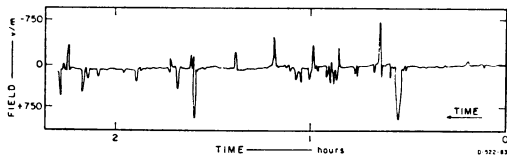
(3) 電位傾度への影響ということでは、自然あるいは人為的原因による空間電荷の発生によるものがある。上記の洋式浴室内での大気電気現象でも、第1図に示した

* Atmospheric Electric Factors as an Index of Atmospheric Pollution.

** H. Hatakeyama 二松学舎大学教授



第1図 浴槽にシャワーを注ぎこんだ時の浴室内の電場変化 (実線は冷水, 破線は温水).



第2図 隣室でカクテル・パーティーが催された時の浴室内の電場変化.

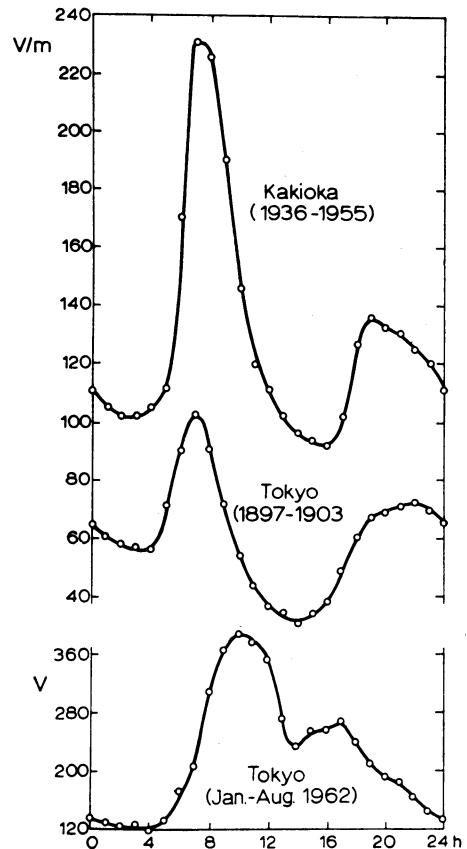
電場の増大は、レナード効果による負の空間電荷の発生によるものであり、第2図に示した変化も、やはり摩擦電気その他人為的な空間電荷の発生に伴うものである。

こういう時の空間電荷の符号は、やはり正負両方がいりまじっているのだが、差引きしてどちらかが多いということになっているのであろう。火山の噴煙の中の電光放電でも、割合短かい、いりまじったように見える放電が、絵に描かれ、写真に撮られているのは、これを示すものと思う。冬に毛や化繊のシャツを脱ぐ時に摩擦電気の起こることが多いが、この場合もやはり正負が割合細かくいりまじり、差引きして片方の符号のものが多いという電気分離になっている。

前記の浴室内に満ちた空間電荷の場合は、部屋の壁で電位零、部屋の中心で電位が正負の極値をとっている。機関車の煙のような場合は、煙のすじと観測地点との幾何学的な関係で垂直電場がきまるのである。

3. 東京の電位傾度日変化の経年変化

第3図に示したのは、東京および柿岡における大気電位傾度（電場の強さ）の静穏日日変化の、それぞれ図中に示した期間の平均である。東京の1897~1903年という



第3図 東京および柿岡の大気電場静穏日日変化

のは、中央気象台年報（地磁気空中電気の部）に記載されているもので、観測場所は竹平町2番地の旧観測露場の中であった。この観測は当時東京管区気象台技術課長太田芳夫が主になって、大気汚染との関連で行ったものである。柿岡はいうまでもなく地磁気観測所構内である。第3図は Hatakeyama (1965) の総合報告から転載した。

大気電位傾度の日変化は陸地で田園性の地点では、どこでも柿岡のような二重振動になる。そしてこれは、地面で発生する汚染（自然のおよび人為的）が、夜間は少ないが、朝から夕方までは台地状に大きくなっていることと、大気の安定度が夜間に大きく、昼間に小さいこととの組合せとして説明されている。上記の自然的汚染というのは、強い風によって地面からまき上げられる細塵などである。第3図を見ると、1900年前後の東京の状態は、まだ柿岡のような田園性の状態であったことを示している。もっとも、近年は大気汚染が関東地方一円に行きわたったせいか、柿岡でも典型的な二重振動の現われる日数が少なくなり、日中でも負になることがあったりするという。

1962年の東京は大都市型（工業都市型）である。これは故川野実の1950年ごろ東大地球物理学教室構内での観測結果でもすでに同様であったし、平均ではこういう形になるが、個々の日には日中時々負の値になるのを認めている。同じことは大阪管区気象台の構内で中野道雄も観測している (Hatakeyama and Kawano, 1953)。

この節に記したことは、2の(1)の関係で理解すればよい。

4. 飛行機観測による交換層の確認

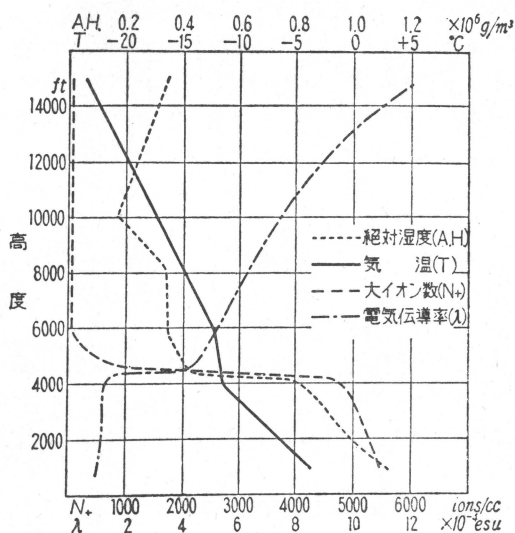
田園的な状態の所での汚染が、いわゆる交換層内に限られていることは、Sagaly and Faucher (1954) のマサチューセッツ州 Bedford からメイン州 Sebago 間の飛行機観測で確かめられた。観測は約40回も行われているのであるが、その中の代表例を第4図に出しておいた。この例では交換層の上限は1500 m 付近にあり、そこで大イオンは急減、電気伝導率は急増し、後者はその後高度に対して指数関数的に増加している。

日本国内4ヶ所（札幌、館野、鹿児島、八丈島）で行われた大気電気ゾンドの観測でも、同様の結果を示すものは多い (Uchikawa, 1961)。

我々が飛行機で旅行する場合の経験でも、離陸してから次第に高度をとり、薄暗い交換層を抜け出ると、急に空は真青になり、視界がよくなる。その上限高度は日中



Hisanaga Hisanaga 氏



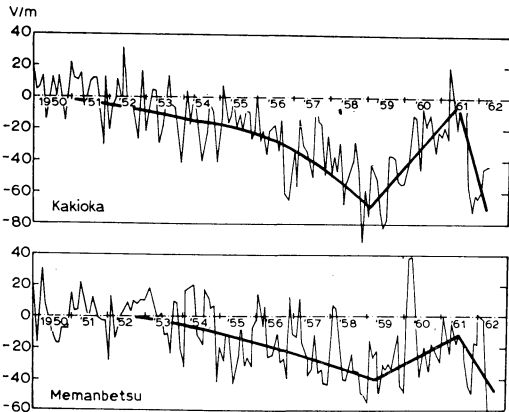
第4図 マサチューセッツ州 Bedford とメイン州 Sebago 間の大気電気要素の飛行機観測

に高くなり、夜は低くなる。地面付近の電位傾度の日変化は第3図のようであるが、交換層の上面と地面との間の電位差では、1日中大きな変化はないのである。

この節に記したことも、2の(1)の関係で理解出来る。

5. 核爆発実験による大気電位傾度の減少

第5図には柿岡地磁気観測所および同女満別出張所構内で観測した大気電位傾度の毎月の平均値の1950年から



第5図 柿岡と女満別における大気電場変化(核爆発実験のための減少)

1962年に至るものを示した。柿岡の曲線は1936—49年の平均値 130 V/m からの片寄りであり、女満別のそれは1950—53年の平均値 124 V/m からの片寄りである。図で見ると1953年ごろから電位傾度の値の減少が著しくなっているが、これは核爆発実験のための放射性フォールアウトの影響と考えられる(Hatakeyama, 1965)。

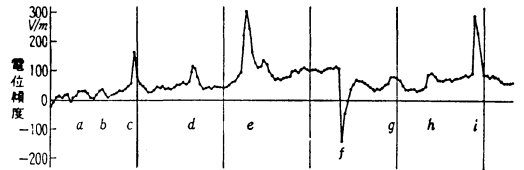
近藤五郎(1959)は別に柿岡の大気電気伝導率についても調査して、同じころからそれが大きくなっていることを見出している。

1958年秋には核爆発実験は一旦中止され、それとともに電位傾度の値は正常値に向って回復しはじめ、3年間を経て1961年夏はほぼ正常値を取り戻したと見られるところに、再び核爆発実験が再開され、電位傾度の値は急激に減りはじめた。

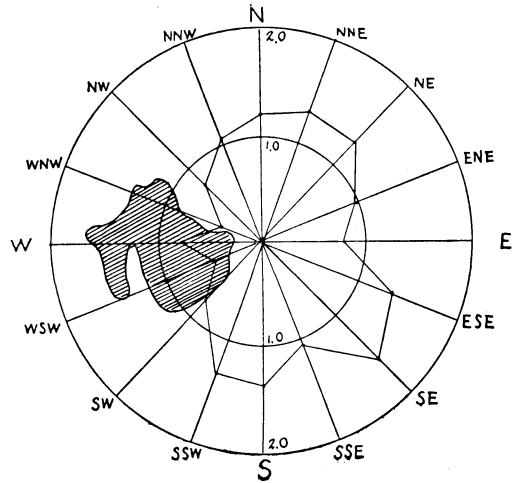
この節に記したことは、2の(2)の関係で理解出来る。

6. 機関車の煙による電位傾度の変化

2の(3)に対応する場合の1例として、機関車の煙による電位傾度の変化を第6図に出しておいた。これで見ると、蒸気機関車の煙による大気電位傾度のじょう乱は、継続時間が非常に短く、10分以内で元の状態に戻つてしまうので、この種のじょう乱の単位型式として見るのに都合のよいものである。畠山と菊池(1946)が浅間火山の噴煙雲による電位傾度のじょう乱を調べるため、当時の軽井沢観測所(現在の同宿舎)の構内(線路からの距離約400m)に、ペンドルフ電位計を据えつけて観測しているうちにそれを発見し、後には杓掛駅(現在の中軽井沢駅)の構内で、線路のすぐそばでも観測し



第6図 機関車の煙による電位傾度の変化



第7図 樺太豊原の風向別大気電気伝導率

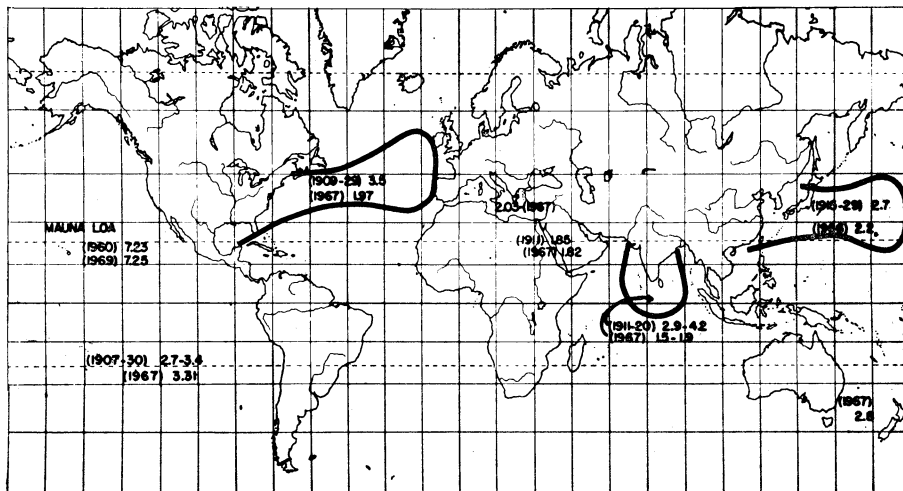
てみた。

同じ種類のじょう乱は、風向によって高層気象台本庄出張所構内(高崎線からの距離約600m)でも、内川規一によって認められている。外国では南アフリカでRudge(1914)が研究したことがあるし、西ドイツではMühleisen(1953)が400mの距離の線路を通過する列車の影響を調べている。

第6図のc, e, f, iの変化は特に大きく、d, g, hは中ぐらいのものであり、a, bのように小さくなると、もうふだんにはいつてくるじょう乱と区別がつかない。正常値からの片寄り80 V/m以上の変化は、1944年8, 9, 10月の中に69回あり、そのうち正は64回、負は6回(1回は正負に大きく変化した)あった。少ない割合ながら、どうして負の変化が現われるのか、その理由ははっきりしない。石炭の種類がちがうか、石炭の燃やし方がちがうかの問題であろう。

観測所構内でこの種のじょう乱がおこっている時に上空を見ると、煙の薄くなった混濁状態が風に從って流れて行くのを認め得る場合もあった。

駅の構内でのじょう乱は継続時間がずっと短かく、約10秒以内で変化の主な部分が終ってしまうものもある。煙



第8図 大気電気伝導率の全地球的分布

が観測点付近の上空にある間だけは大きなじょう乱をおこしている。その最大値は1,500ないし2,000 V/mに達した。

7. 小都市郊外の大気電気伝導率

島山と柴田(1934)は樺太豊原(現在のユージノサハリンスク)の地磁気観測所で、ゲルジーン型電気伝導率計で観測した値について議論した。その中に人為的な大気汚染の影響を示すものがある。

第7図には、冬季間(10月-3月)の各風向における電気伝導率の平均値を示した。中心は観測所の位置であり、またハッチングを施した区域は市街地である。南北には広々とした原野が展開しており、東の方は低い山脈が連っている。第7図が見るように、市街地から吹いて来る風では、電気伝導率が著しく小さくなっている。これは市街地で人為的に出る微粒子性汚染のために小イオンが減り、電気伝導率が小さくなるとして説明出来る。夏季(4月-9月)にも同様の傾向はあるが、これほど顕著ではない。

8. 海洋上の大気電気伝導率

近年地表付近から成層圏までの大気汚染に関連して、大気中のエアロゾルの性質に気象学者の眼が向けられるようになって来た。一般にエアロゾルと言っても、その粒径の大小によって、気象への影響のしかたは大いに異なる。

試みに半径0.1 μ mあたりに境界をおいてエアロゾルを2種に大別し、粒径がこれ以上と以下とで性質がどのようにちがうかを見よう。粒径の大きい方は、数密度で

は非常に少なく、地表付近でもわずかに3%以下なのであるが、大気混濁の原因となり、放射エネルギーの収支に影響する。だから混濁係数が粒子密度の指標となる。これに反し粒径の小さい方は数密度は非常に大きく、雲物理に重要な関係があるだろうと言われ、オゾン層への影響も考えられているが、まだ詳しいことはわかっていない。この小さい方の粒子密度の指標として大気電気伝導率を使えるのである。

微粒子汚染の指標としては、電気伝導率と混濁係数とが挙げられるが、この両者の相関性が強いかわかは、広域拡散の場合に粒径分布がどの程度変形するかによる。

近年日本でも三崎と竹内(1970)、森田(1971)、三崎ら(1972)、関川俊男らの洋上における電気伝導率の観測があり、Jungeら(1971)の大西洋における観測もあるが、第8図には近着のJournal of the Atmospheric Sciencesに載ったCobb(1973)の電気伝導率の全地球的分布の図を出しておいた。

ハワイのマウナロアのように人為的汚染源から遠い観測点や、大洋上の観測船で観測した電気伝導率の値が使っている。彼によると、地球上の大部分では、人間活動にも拘わらず、自然のエアロゾル濃度は数十年間不変に保たれている。ただ著しい三つの例外がある。それはアメリカ合衆国から東に北大西洋へ、日本から東に北太平洋へ、アジアから南にインド洋北部へ伸び出したエアロゾル汚染の袋状の部分である。これらの部分はエアロゾルの寿命と大気大循環の関連で説明出来るであろう。そしてCobbは現在の燃料として使われる石炭や石油

は、ほかの形のエネルギーに切り替えられる傾向にあるから、人為的なエアロゾル汚染は今世紀末までには減り始め、その結果全地球の気候変化は大したものとはならないと結論している。

Cobb と Wells (1970) は3年前にも観測船 Oceanographer の観測結果と、何十年も前に行われた観測船 Carnegie の観測結果とを比べて、南太平洋では大気電気伝導率は過去半世紀の間ほとんど変化がないが、北大西洋では少なくとも20%それが減少していることを指摘している。上記結論はそれとは矛盾はしないが、仮定に頼りすぎており、余りに楽観的に過ぎるように思う。人為的な大気汚染を減らすためにはよほどの努力が必要であろう。

文 献

- 1) Cobb, W. E., 1973: Oceanic aerosol levels deduced from measurements of the electrical conductivity of the atmosphere. *J. Atmos. Sci.*, **30**, 101-106.
- 2) Cobb, W. E. and H. J. Wells, 1970: The electrical conductivity of oceanic air and its correlation to global atmospheric pollution. *J. Atmos. Sci.*, **27**, 814-819.
- 3) Hatakeyama, H., 1965: Atmospheric electricity research in the Far East. *Problems of atmospheric and space electricity (Ed. S.C. Coroniti)*, 11-24.
- 4) Hatakeyama, H. and M. Kawano, 1953: On the diurnal variation of atmospheric potential gradient in the Japan archipelago. *Pap. in Meteor. and Geophys.*, **4**, 55-60.
- 5) 畠山久尚, 菊池武徳, 1946: 機関車の煙による空中電位傾度の変化. 中央気象台付属気象技術官養成所研究報告, **1**, 9-13.
- 6) 畠山久尚, 柴田章吾, 1934: 豊原にて観測せる大気電気伝導度について. *気象集誌*, **12**, 67-72.
- 7) Junge, C. and R. Jaenicke, 1971: New results in background aerosols studies from the Atlantic Expedition of the R. V. *Meteor. spring 1969. Aerosol Science*, **2**, 305-314.
- 8) 近藤五郎, 1959: 柿岡地磁気観測所要報, **9**, 2.
- 9) Misaki, M., M. Ikegami and I. Kanazawa, 1972: Atmospheric electrical conductivity measurements in the Pacific Ocean, exploring the background level of global pollution. *J. Meteor. Soc. Japan*, **50**, 497-500.
- 10) Misaki, M. and T. Takeuti, 1970: The extension of air pollution from land to ocean as revealed in the variation of atmospheric electric conductivity. *J. Meteor. Soc. Japan*, **48**, 263-269.
- 11) Morita, Y., 1971: The diurnal and latitudinal variation of electric field and electric conductivity in the atmosphere over the Pacific Ocean. *J. Meteor. Soc. Japan*, **49**, 56-58.
- 12) Mühleisen, R., 1953: Die Inftelektrische Elemente im Groszstadtbereich. *Zeit. f. Geophys.*, Sonderband, 142.
- 13) Pierce, E. T. and A. L. Whitson, 1966: Atmospheric electricity in a typical American bathroom. *Weather*, **21**, 449-455.
- 14) Sagalyn, R. C. and G. A. Faucher, 1954: Aircraft investigation of the large-ion content and conductivity of the atmosphere and their relation to meteorological factors. *Journ. Atm. Terr. Phys.*, **5**, 253.
- 15) Uchikawa, K., 1961: *Geophys. Mag.* **30**, 617.

山路自然科学振興財団研究助成金および 山路自然科学奨学賞の推薦について

山路ふみ子自然科学振興財団より下記要領による推薦依頼が来ています。希望者は**9月20日(木)**必着にて、**申請者氏名、郵便宛先、電話番号**(奨学賞で本人でないときは候補者名も併記のこと) **研究題目**を記入の上担当理事北川信一郎(〒338 浦和市下大久保255埼玉大学理工学部 TEL 0488-52-2111)に申出下さい。
研究助成金

- (1) 1件100~200万円程度(数件)

- (2) 年齢45歳未満で自然科学に関する研究に従事するもの
- (3) 推薦件数は2件以内
自然科学賞
 - (1) 本賞一賞牌, 副賞一100万円(7件以内)
 - (2) 理, 工, 農, 医学の分野で学術上の研究業績が優秀で年齢50歳未満のもの
 - (3) 推薦件数 1件