

## 総説

(臨床環境10 : 70~77, 2001)

# 空気マイナスイオンの臨床および生理学的効果

琉子友男<sup>1)</sup>

1) 東京都立大学大学院理学研究科身体適応科学分野

## Clinical and physiological effects of negative air ions

Tomoo Ryushi<sup>1)</sup>

1) Division of Human Adaptation, Graduate School of Science, Tokyo Metropolitan University

### I. はじめに

空気イオンの生体に及ぼす影響に関する研究は、主にドイツ、ロシア、日本およびアメリカ合衆国において20世紀初頭から始まった。しかし、この分野の研究は第2次世界大戦のため中断を余儀なくされ、重要な論文が再び世に出たのは1950年代である。また、1961年にはアメリカ合衆国において、最初の国際空気イオン学会が開催されたが、これを機にアメリカ合衆国、ロシア、イスラエル、オランダ、イタリアおよびフランスなどの研究者を中心に多くの論文が発表されるようになった。

一方、国内での研究は、戦前に北海道大学医学部と慶応大学医学部を中心に東京慈恵会医科大学、日本医科大学および九州大学医学部などが加わって盛んに行われていたが、戦後これらの大学で行われた形跡はない。しかし、最近では北海道大学医学部や九州大学医学部において、この分野の研究復活の兆しが見え始めている。本稿では、我々が今日まで行ってきた研究に加え、主に欧米諸国で発表された研究を概説する。

### II. 気候変化と空気イオン

空気のイオン化は中性の原子あるいは分子が何

らかのエネルギーによって電子を放出することによって生ずる。空気中の物質がプラスに帯電するか、マイナスに帯電するかは電子の放出（酸化）あるいは取り込み（還元）のどちらかによって決定される（図1）。

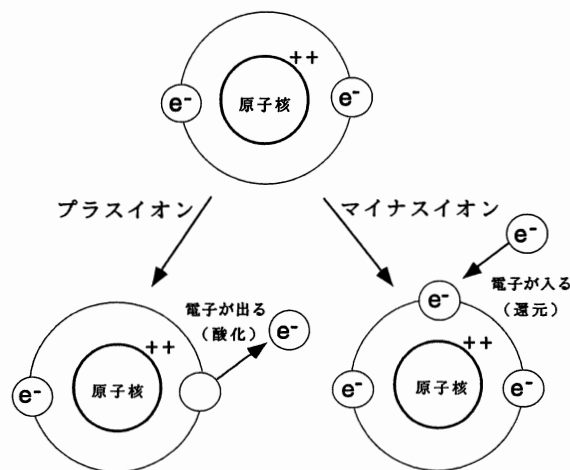


図1 大気のイオン化

空気をイオン化する自然界のエネルギー源は、土壌からの放射線、宇宙線や紫外線であり、その他に標高（酸素濃度）、気圧、気流および降水な

受付：平成13年3月26日 採用：平成13年10月3日

別刷請求宛先：琉子友男

〒192-0397 八王子市南大沢1-1 東京都立大学大学院理学研究科身体適応科学分野

Received: March 26, 2001 Accepted: October 3, 2001

Reprint Requests to Tomoo Ryushi, Division of Human Adaptation, Graduate School of Science, Tokyo Metropolitan University, Minamiohsawa 1-1, Hachioji, Tokyo 192-0397 Japan

どが含まれる<sup>1)</sup>。また、新月後の24~72時間の間、満月の間は空気のイオン化が増大する<sup>2)</sup>。さらに、空気をイオン化する人為的なエネルギーとして、大気汚染、煙、ガス、空調装置からの放熱、電子機器から出る電磁波および人工繊維の摩擦等があげられる<sup>1)</sup>。

1950年代には人工的にマイナスイオンを発生させるコロナ放電法が開発され、生体に及ぼす影響が実験室で観察される様になった。その後、コロナ放電法と違ってオゾンや窒素酸化物を発生させない電子放射式やレナード式(水破碎式)が開発され、それらの装置を用いた研究も盛んに行われる様になった(図2)。

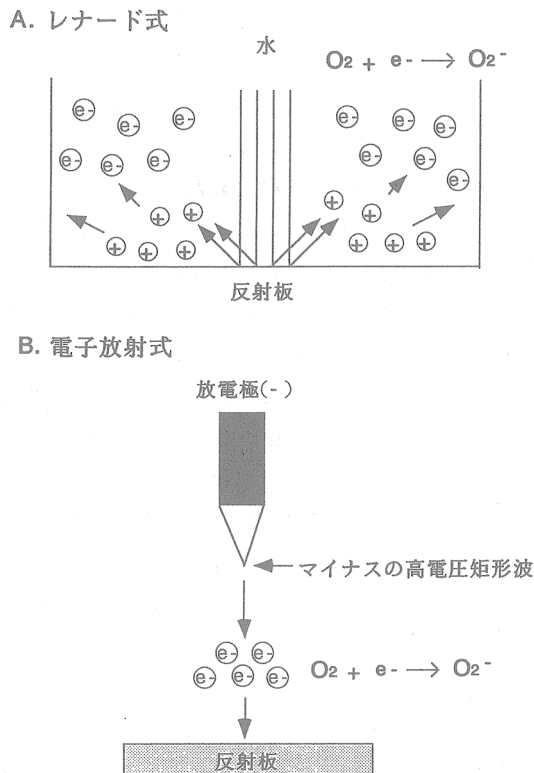


図2 人工的なマイナスイオンの発生方法

気候変化にともなう空気イオンが生体反応に関係することを初めて科学的に立証したのは Steffen (1910)<sup>3)</sup>である。彼は関節炎の悪化が「winter winds」と呼ばれる気候変化によって生ずるプラスイオンによるものであると報告した。その後、アルプスにおける Foehn、太平洋北西

部の Chinook、アルゼンチンの Zonda、カリフォルニアの Santa Ana、イタリアの Sirocco およびイスラエルの Sharav などの気候変化が、多くのプラスイオンを発生させることが明らかになった。また、そのプラスイオンは気候に敏感な人々 (weather-sensitive individuals、人口の約30%) に不眠、神経過敏、過緊張状態および胃痛などを惹起する<sup>4)</sup>。さらに疫学的な調査では自殺、事故そして犯罪などが増加するという<sup>5,6)</sup>。その後、Sharav 病患者の症状が中脳にセロトニンを過剰に蓄積しているときのものに類似していること、患者の尿に大量のセロトニンが含まれていることが明かにされた。これらの症状の改善には、患者にセロトニン阻害剤を投与するか、あるいはコロナ放電法による大量のマイナスイオン暴露が有効であったと報告されている<sup>7)</sup>。

### III. マイナスイオンの生理学的効果

#### 1. マイナスイオンとセロトニン

一般にセロトニンは、必須アミノ酸であるトリプトファンから合成される。トリプトファンは腸粘膜のクロム親和性細胞や脳内に取り込まれ、トリプトファン水酸化酵素およびアミノ酸脱炭酸酵素によってセロトニンに変換される。末梢におけるセロトニンは腸や血管などの平滑筋および自律神経系に作用する。例えば、消化器系ではセロトニンが腸の平滑筋や神経節を刺激して腸管の運動を制御している。また、呼吸器系ではセロトニンが頸動脈洞や大動脈の化学受容器に作用して呼吸を促進させたり、喘息患者では気管支筋に直接作用して気管支を収縮させる。さらに、心血管系では心臓の働きを調節している交感神経にセロトニンが直接作用して心拍数を増加させることが知られている。

マイナスイオンとセロトニンの関係を実験的に初めて明らかにしたのは Krueger と Smith (1960)<sup>8)</sup>である。彼らは、マイナスイオン暴露下でモルモットを飼育し、尿中の5-ヒドロキシインドール酢酸 (5-HIAA) を定量したところ、通常的环境下で飼育したものよりも増加していたこと、また、気管に存在するセロトニンが減少して

いたことを報告している。このことから、彼らはマイナスイオンがセロトニン代謝に関係するモノアミン酸化酵素の活性を高め、セロトニンから5-HIAA への代謝を促進させると結論づけた。また、シリコン処理したヒトの静脈血をプラスイオンに暴露すると、セロトニンが通常の静脈血に比較して血中では40%、血漿では90%、赤血球では50%、血小板では240%も増加した。一方、マイナスイオンを暴露すると、セロトニンが血中では30%、血漿では42.5%、赤血球では41.7%、血小板では72.3%も減少した<sup>9)</sup>。

また、成人男子10名を対象に60分間の自転車漕ぎ運動(中等度の負荷)を行わせ、回復過程の血中セロトニン濃度をマイナスイオン環境下(約1万個/cc)と非暴露の環境下(200~400個/cc)で比較した研究では、マイナスイオン環境下の方が非暴露の環境下に比較してセロトニン濃度が有意に低いという結果が得られている(図3)<sup>10)</sup>。これらのことから、末梢のセロトニンがマイナスイオンによって影響を受けることは確実なようである。

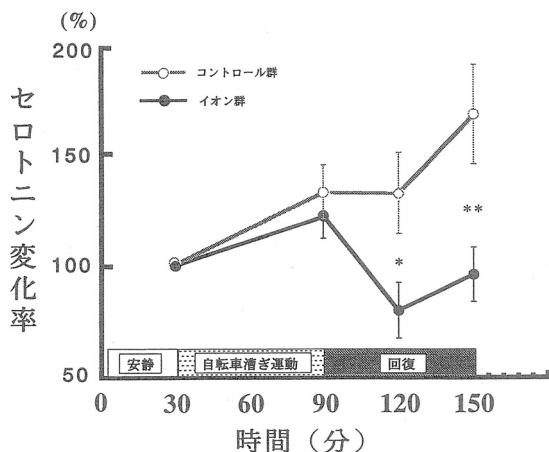


図3 血中セロトニン濃度の相対的变化

○印は非暴露時  
●印はマイナスイオン暴露時の平均値と標準誤差  
\* :  $p < 0.05$ ; \*\* :  $p < 0.01$  (paired t-test)

## 2. マイナスイオンと自律神経系および血圧

Ju と Kubo (1997)<sup>11)</sup>は本態性高血圧ラットをマイナスイオン暴露下と非暴露下で8週間飼育し、自律神経系や血圧を両群間で比較した。非暴露下に比較してマイナスイオン暴露下の方が交感

神経は抑制され、副交感神経は亢進していた。また、収縮期と拡張期の血圧も低下していた。これらのことは、安静時、運動中および回復時にマイナスイオン暴露時と非暴露時の心拍変動を調査した我々の結果<sup>12)</sup>と一致している。即ち、回復時の交感神経系はマイナスイオン暴露の方が非暴露時に比較して全般にわたり抑制されていた。また、副交感神経系は回復30分までは亢進する傾向を示した。さらに、マイナスイオン暴露時の拡張期血圧が非暴露時のそれに比較して有意に低い値を示した。

血管の収縮や拡張の調節には自律神経系、神経伝達物質および副腎皮質ホルモンなどが関与している<sup>13)</sup>。したがって、先に示された拡張期血圧の低下はマイナスイオン暴露による交感神経の抑制、セロトニンなどの神経伝達物質濃度の変化およびコルチゾールなどの副腎皮質ホルモン濃度の変化が原因であろう。

## 3. マイナスイオンと活性酸素

Kosenko ら (1997)<sup>14)</sup>は、ラットの赤血球に120万個/ccのマイナスイオンを暴露すると約2倍もSOD活性が増加(1191±39 U/mlから2330±212U/ml)することを報告している。彼らは、マイナスイオンが活性酸素そのものであると考えており、マイナスイオン暴露によるSOD活性の亢進は、マイナスイオンである活性酸素を分解し取り除くためであると報告している。また、SOD活性の亢進は、赤血球中の $H_2O_2$ が増加したことによると述べているが、 $H_2O_2$ の増加がなぜSOD活性を亢進させたのかについては明確にしていない。

また、Temnov ら (1997)は、マイナスイオンで前処理した溶媒にホモジュネートした肝組織を入れると、分散していた肝臓のミトコンドリアが素早く凝集すること、また、マイナスイオンを暴露しながら冷やすと、2、3時間で大きなミトコンドリア塊になることを報告している<sup>15)</sup>。彼らはマイナスイオンの生理効果の発現にはミトコンドリアが関与すること、また、ミトコンドリアの凝集には $O_2^-$ から生成された $H_2O_2$ が関与すると述べている。

さらに、Goldstein と Arshavskaya (1997)<sup>16)</sup>は、哺乳動物に対するイオン欠乏の影響を観察した。マイナスとプラスイオンがそれぞれ0個/cc、77±18個/cc のアクリル製ケージ内で飼育したマウス(21.0±1.6g から飼育)およびラット(173.5±7.3g から飼育)は、マイナスとプラスイオンがそれぞれ482±128個/cc、660±148個/cc の石英ガラスケージ内で飼育したものに比較して早死にした(イオン欠乏マウスとラットの寿命はそれぞれ16.2±0.9日と23.0±1.1日)。また、早死にしたラットおよびマウスの下垂体腺部や後葉の神経性部分に電顕レベルでの病的変性が認められた。これらのことから、彼らは空気イオン喪失にともなう神経伝達物質の濃度変化および下垂体不全が動物の死を決定すること、また、マイナスイオン暴露によって生ずる活性酸素が幼児の発育に極めて重要であると述べている。しかしながら、マイナスイオンと活性酸素に関する研究は緒に就いたばかりで、今後、更なる検討が必要と思われる。

#### 4. マイナスイオンと作業能力

マイナスイオンと作業能力に関する研究の多くが、作業能力の指標として psychomotor tasks (心理運動課題) を用いている。例えば、Hawkins と Barker (1978)<sup>17)</sup>は成人男子45名をマイナス、プラス、および通常環境の3グループに分け、それぞれの環境下で行われた鏡面描写テスト、追従動作テスト、視覚反応時間などへの影響を観察した。彼らはマイナスイオン下ではそれらのすべての能力が通常環境下に比較して有意に向上したが、プラスイオン下ではいかなる効果も認められなかったと報告している。しかしながら、Tomら (1981)<sup>18)</sup>はマイナスイオンが反応時間やムードには有効であったが、追従動作テストには効果がなかったと報告している。このように心理運動課題の種類によって、マイナスイオンの効果が認められないとする報告もあり、一致した結果は得られていない。

成人男女16名を対象に60分間の自転車漕ぎ運動(中等度の負荷)を行なわせ、回復過程の反応時間をマイナスイオン環境下と非暴露の環境下と比較した研究では、マイナスイオン環境下における

反応時間の方が有意に早く安静レベルに戻るといふ結果が得られている(図4)<sup>19)</sup>。一般に、持久的運動後の反応時間は、疲労が原因で延長されることが知られているが、この結果はマイナスイオンが反応時間の構成要素である中枢および末梢神経に何らかのよい効果を有していることを示唆している。反応時間に対するマイナスイオンの回復効果は、スポーツ競技における成績の向上に役立つかも知れない。

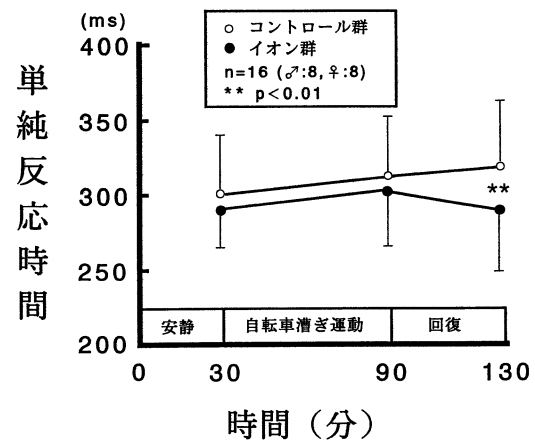


図4 単純反応時間の推移

○印は非暴露時  
●印はマイナスイオン暴露時の平均値と標準偏差  
\*\* :  $p < 0.01$  (paired t-test)

## IV. マイナスイオンの医学的効果

### 1. マイナスイオンと精神神経疾患

ストレスに対する抵抗力は、身体的反応を調節するシステム、即ち「視床下部—下垂体—副腎系」によって調節されている。生体がストレスを受けると視床下部からコルチコトロピン放出因子(CRF)が分泌される。これを受けて脳下垂体からは副腎皮質刺激ホルモン(ACTH)が分泌され、さらに、血液で運ばれてきたACTHによって副腎はコルチゾールを分泌する。コルチゾールは、われわれのからだを「闘争」か「逃走」へ反応させる物質である。そのため、食欲や性欲は抑制されるが、集中力や緊張状態は高まり、睡眠障害をとともなう過緊張状態にする。このような状態の慢性化はうつ病の原因のひとつである。Livanovaら(1999)<sup>20)</sup>はラットを狭いアクリル製管に1時

間閉じ込め、血圧および体性感覚—運動野のコハク酸脱水素酵素を測定した。その結果、マイナスイオンを暴露しながら閉じ込めたラットは非暴露下で閉じ込めたラットに比較して血圧の上昇が認められず、しかもコハク酸脱水素酵素濃度も増加しなかった。この結果は、マイナスイオンが拘束ストレスを緩和する効果を有していることを示唆している。我々はマイナスイオン暴露下で8週間飼育したラットの視床下部における神経伝達物質濃度を通常的环境下で飼育したラットと比較した。γ-アミノ酪酸 (GABA) およびアスパラギン酸は、マイナスイオン下で飼育したラットの方が通常的环境下で飼育したものよりも増加していた (図5)<sup>21)</sup>。抑制系の神経伝達物質であるGABAがマイナスイオン下で飼育したラットで増加していたことは、マイナスイオンがCRFの分泌を抑制する可能性を示唆する。また、アスパ

ラギン酸の増加は、発達期の動物における学習や記憶、神経の発達および神経回路の形成促進に関係があると言われている。このGABAおよびアスパラギン酸の結果は、迷路実験においてマイナスイオン下で飼育したラットの方が通常環境下のものに比較してゴールにたどりつく時間が速いという結果<sup>22)</sup>やマイナスイオンがストレスを緩和するという結果<sup>20)</sup>を支持するものである。

Misiaszek ら (1984)<sup>23)</sup>は8人の躁病患者を対象にマイナスイオンが症状の改善に効果があるかを臨床実験で調査した。マイナスイオン暴露の前に会話障害、不安興奮、注意散漫、昂揚感、睡眠障害、および誇大妄想などの症状を認めた8人の患者のうち7人が、1時間から1時間半のマイナスイオン暴露によって、眠たさを感じたり、落ち着いた状態や集中できる状態に回復した。その落ち着いた状態は暴露後1時間続いたと報告している。また、Terman 夫妻 (1995)<sup>24)</sup>は、季節性情緒障害 (winter depression) の患者 (25人) をマイナスイオン少量暴露群 (1万個/cc) と大量暴露群 (270万個/cc) に分け、20日間にわたって早朝30分間だけマイナスイオンを暴露した。症状の頻度や強さが半分軽減された状態を効果があったとして、大量暴露群では患者の58%に、少量暴露群では15%に抗うつ効果が認められた。さらに、Terman ら (1998)<sup>25)</sup>は、158人の季節性情緒障害患者を対象に bright light (1万ルクス、30分/日) とマイナスイオン暴露 (27万個/cc、30分/日) の治療効果の比較を行っている。うつ病の改善に対して、光暴露は夕方よりも早朝の方が効果的であった。マイナスイオン暴露は早朝の光暴露と同程度の効果があった。一般に起床時の光暴露は脳における松果体からのメラトニン分泌を促し、生体時計を調節する働きを有している。また、メラトニンはセロトニンから合成される物質であり、視交叉上核由来の覚醒信号を抑制し、睡眠を生じさせると考えられている。このようなことから、季節性情緒障害患者に対するマイナスイオンや早朝の光暴露の抗うつ効果は、脳内のセロトニンやメラトニン濃度の変化によるものであると思われる。今後のこの方面における研究の発展が期

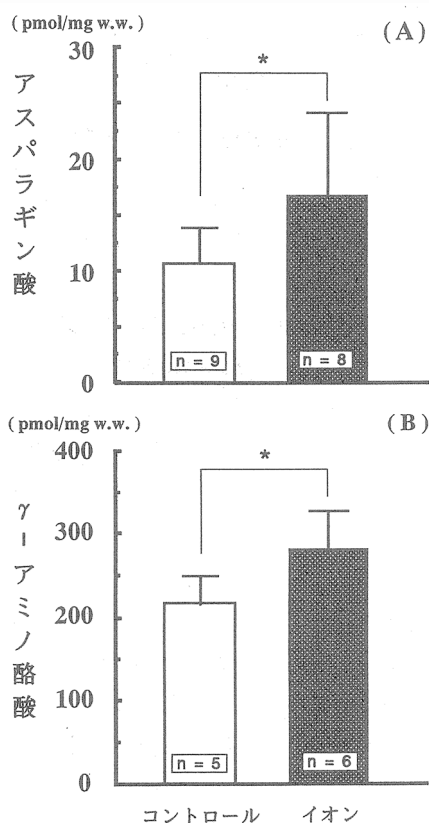


図5 ラット視床下部の神経伝達物質濃度

- : 非暴露飼育後
- : マイナスイオン暴露飼育後の平均値と標準誤差
- \* :  $p < 0.05$  (unpaired t-test)

待される。

## 2. マイナスイオンと呼吸器系疾患

Jones ら (1976)<sup>26)</sup>は7人の気管支喘息患者に対し、夜間にマイナスイオンを8週間暴露したときの肺活量や最大呼気量などを室内空気暴露との間で比較した。翌朝に測定したところ、7人の患者のうち4人において、それらの数値が有意に改善したことを報告している。また、Ben-dov ら (1983)<sup>27)</sup>は、21人の運動誘発性喘息の子供をマイナスイオン暴露下で自転車漕ぎ運動を行う群とヒスタミン投与群に分け、マイナスイオンの喘息に対する効果を観察した。マイナスイオンを暴露しながら運動を行った11人の子供の内10人において、運動による喘息の発現が少なく、しかも運動後の1秒率や肺活量の低下率が低く押さえられた。

しかし、Larsen ら (1994)<sup>28)</sup>は成人喘息患者19人を2群に分けて、それぞれを4週間、マイナスイオンと室内空気に暴露した後、さらに4週間、最初とは反対の暴露をして、肺活量、最大呼気速度、抗喘息薬の使用量、症状などを調査した。両期間におけるそれらの数値の間には有意な差が認められなかったことを明らかにし、マイナスイオンを用いた治療は気管支喘息患者には効果がないと報告している。また、Warnaer ら (1993)<sup>29)</sup>はアレルギー性喘息の子供20人を対象に6週間はマイナスイオン、後の6週間は室内空気暴露という方法を用いてヒョウヒダニアレルゲン濃度、最大呼気速度、喘息症状などの測定を行った。マイナスイオン暴露によって室内のアレルゲン濃度は減少したが、症状の改善は認められなかったことを報告している。このようにマイナスイオンの喘息に対する効果については、未だ明確な結論は得られていないのが現状である。

## V. おわりに

空気イオンに関する研究の実態を1966年から現在まで調査してみると、Medline に掲載されているだけでも単行本は17冊、論文数は約400本にのぼる。多くの研究者がマイナスイオンは生体に有益であると報告しているが、中には効果が認めら

れなかったとする報告もある。古い論文からは、温・湿度に対する配慮が欠けていることなどが読み取れた。このことから、環境条件の不一致などが論文によって一致した結果の得られなかった原因ではないかと思われる。

また、空気マイナスイオンがどのような物質であるかを特定することは、現代の科学レベルをしても困難であると言われている。このことが、この分野における研究の発展を妨げている原因の一つと考えられる。コロナ放電法によって作成されたマイナスイオンは  $\text{CO}_4^-(\text{H}_2\text{O})_n$  や  $\text{O}_2^-(\text{H}_2\text{O})_n$  と推測されていた<sup>30)</sup>が、最近の研究では、 $\text{O}_2^-(\text{H}_2\text{O})_n$  に加えて  $\text{CO}_3^-(\text{H}_2\text{O})_n$ 、 $\text{NO}_3^-(\text{HNO}_3)_m$  ( $\text{H}_2\text{O})_n$ 、 $\text{C}_3\text{H}_3\text{O}_4^-$ 、 $\text{CH}_3\text{SO}_3^-$  なども候補にあがっている<sup>31)</sup>。しかしながら、我々が実験に用いている水破砕式で発生するマイナスイオンは、そのほとんどが酸素分子に水分子数個が付着した構造、即ち、 $\text{O}_2^-(\text{H}_2\text{O})_n$  と考えている。炭素や窒素と違い、酸素は不対電子2個を有しているため電子を受け取り易いことによる。

本稿が臨床環境医学分野におけるマイナスイオン研究の端緒になれば幸いである。

## 文献

- 1) Valenzuela MA: Significacion biologica y terapeutica de los iones atmosfericos. Academia Nacional de Medicina 100: 635-668, 1983
- 2) Schreiber GOS: Space charge and atmospheric pressure. Int J Biometeorol 11: 323, 1967
- 3) Steffens P: Wiggengungswechsel und Rumatismus. Leipzig, 1960
- 4) Sulman FG: Effect of heat stress on release of catecholamines, serotonin, and other hormones. International Congress of Pharmacology, 1969
- 5) Muecher H, Ungeheuer H: Meteorological influence on reaction time, flicker fusion frequency, job accidents and medical treatment. Percept. Motor Skills 12: 163-168,

- 1961
- 6) Sulman FG, Pfeifer Y, et al: Effect of hot dry desert winds (Sharav, Hasmin) on the metabolism of hormones and minerals. *Harokeach Haivri* 10: 401-404, 1964
  - 7) Sulman FG, Levy D, et al: Ionometry of hot, dry desert winds (Sharav) and application of ionizing treatment to weather-sensitive patients. *Int J Biometeorol* 18: 393, 1984
  - 8) Krueger AP, Smith RF: The biological mechanisms of air ion action: Negative air ion effects on the concentration and metabolism of 5-hydroxytryptamine in the mammalian respiratory tract. *J Gen Physiol* 44: 269-276, 1960
  - 9) Tal E, Pfeifer Y, et al: Effect of air ionization on blood serotonin in vitro. *Experientia* 32: 326-327, 1976
  - 10) Ryushi T, Kita I, et al: The effect of exposure to negative air ions on the recovery of physiological responses after moderate endurance exercise. *Int J Biometeorol* 41: 132-136, 1998
  - 11) Ju K, Kubo T: Power spectral analysis of autonomic nervous activity in spontaneously hypertensive rats. *Biomed. Sci Instrum* 33: 338-343, 1997
  - 12) 琉子友男、北一郎、他：運動後の疲労回復に対する大気中負イオンの生理学的効果. *臨床環境医学*6:34-40, 1997
  - 13) Wilmore JH, Costill DL: *Physiology of sport and exercise*. Human Kinetics, Champaign, pp.246-247, 1994
  - 14) Kosenko EA, Yu G, et al: The stimulatory effect of negative air ions and hydrogen peroxide on the activity of superoxide dismutase. *FEBS Letters* 410: 309-312, 1997
  - 15) Temnov AV, Sirota TV, et al: Effect of superoxide in air on structural organization and phosphorylating respiration of mitochondria. *Biochem* 62:1089-1095, 1997
  - 16) Goldstein NI, Arshavskaya TV: Is atmospheric superoxide vitally necessary? Accelerated death of animals in a Quasi-Neutral electric atmosphere. *Z Naturforsch* 52: 396-404, 1997
  - 17) Hawkins LH, Barker T: Air ions and human performance. *Ergonomics* 21: 273-278, 1978
  - 18) Tom G, Poole MF, et al: The influence of negative air ions on human performance and mood. *Human Factors* 23: 633-636, 1981
  - 19) 琉子友男、浜光太郎、他：運動後の負イオン暴露が反応時間に及ぼす影響. *臨床環境医学* 6:123, 1997
  - 20) Livanova LM, Levshina IP, et al: The protective effects of negative air ions in acute stress in rats with different typological behavioral characteristics. *Neurosci Behav Physiol* 29: 393-395, 1999
  - 21) 琉子友男、大塚由有子、他：負イオンが脳波、自律神経系および脳内神経伝達物質濃度に及ぼす影響. *臨床環境医学*7:121, 1998
  - 22) Duffee RA, Koontz RH: Behavioral effects of ionized air on rats. *Psychophysiology* 1: 347-359, 1965
  - 23) Misiaszek J, Gray F, et al: The exposure of manic patients to negative air ions. Annual meeting, Academy of psychosomatic medicine, Denver, Colorado, 1984
  - 24) Terman M, Terman JU: Treatment of seasonal affective disorder with a high-output negative ionizer. *J Alt Com Med* 1: 87-92, 1995
  - 25) Terman M, Terman JU, et al: A controlled trial of timed bright light and negative air ionization for treatment of winter depression. *Arch Gen Psychiatry* 55: 875-882, 1998
  - 26) Jones DP, Oconnor SA, et al: Effect of long-term ionized air treatment on patients with bronchial asthma. *Thorax* 31: 428-432, 1976
  - 27) Ben-dov I, Amirav I, et al: Effect of negative ionization of inspired air on the response of

- asthmatic children to exercise and inhaled histamine. *Thorax* 38: 584-588, 1983
- 28) Larsen KR, Olsen OT, et al: Ion generators and bronchial asthma. A double-blind placebo controlled study. *Ugeskr Laeger* 156: 41, 1994
- 29) Warnær JA, Marchant JL, et al: Double blind trial of ionisers in children with asthma sensitive to the house dust mite. *Thorax* 48: 330-333, 1993
- 30) Krueger AP: Air ions as biological agents – fact or fancy? *Immunol Allergy Practice* 4: 129-140, 1982
- 31) 長門研吉: 大気イオンの化学組成. *静電気学会誌* 23: 37-43, 1999