

# 長期マイナスイオン暴露が ヒトの生理機能・免疫機能に与える影響

渡部一郎, 眞野行生

北海道大学リハビリテーション科

## Immunological Effect of Long-term Exposure of Negative Air Ions on Human

Ichiro WATANABE, Yukio MANO

Rehabilitation and physical Medicine, Hokkaido University

### Summary

A large number of negative air ions have been detected in forests, at spas, and near waterfalls. The air ion had been reported to improve the feelings of comfort, feelings of fatigue and occupational efficiency. Almost all the studies were reported by the short-term exposure of the air ions (2-5 hours) on human. We analyzed the physiological effects and laboratory findings of the long-term exposure of negative air ion (ca. 5000/cc, 5 hours/day, 3 weeks) in double-blind methods.

For this study, we made the negative air ion producing machines, in which the steam was combined with electric discharge by high-voltage electrodes. The machines could constantly produce high amount of negative ions (ca. 5,000 counts/cc). We set these machines in the rest rooms of ten volunteer and programmed to spout negative air ions when they were sleeping at midnight (AM1:00-6:00) for 3weeks. After 3weeks exposure of negative air ions or sham condition, we checked the physical and mental tests and sampled the blood.

In the exposure of negative air ions, some of the depressive scales and subjective feelings (scores from Arthritis Impact Measurement Scales (AIMS2)) were better than in those in the sham condition, and the local perspiration of palm, which reflected sympathetic nerve function, also decreased by mental and physical stress in the exposure ions more than in the sham condition. This showed that the negative air ion decreased the stress of the sympathetic nerve function. In laboratory findings, there were no significant differences between the clinical data with ions and without ions, and it was shown that ion was harmless in the range of 5,000 counts/cc 5hours/day. The percentage of natural killer (NK) cells with the exposure of the ions was lower than without ions. This also indicated the air ion decreased the stress of human.

It was shown that the negative air ion might improve human activities and remove the stress. The mechanism of the negative air ions for human is not clear, so that further studies will be needed.

Key words : Negative air ions, Natural killer cells, Immunological effect, sympathetic nerve function

## I はじめに

自然界で森林・温泉地・滝の周辺，噴水の周りで多く認める空気中のマイナスイオンはヒトの仕事能率，快適度，疲労度に良い影響を与えるとされている。温泉地などの保養地療法・タラソセラピーなどはヒトの健康上有益な結果をもたらすことが知られているが，その機序についてはなお解明されていない。マイナスイオンは上記などの自然環境で多数存在し，逆に都会ではプラスイオンの増加，マイナスイオンの減少が観察されている。最近，この自然療法の科学的根拠に空気中マイナスイオンとの関連が考えられてきた。

我々は，これまで2時間程度のマイナスイオン短期暴露下で生理学的な検討を行い，フリッカー計，脳波周波数分析<sup>1)</sup>，局所発汗量，運動量<sup>2)</sup>などを検討し，疲労度，交感神経緊張度の低下，作業能率の改善を報告し，空気中マイナスイオンの存在がヒトに有用な生理作用をもたらすことを示してきた。今回，3週間の長期暴露試験による生理作用，生化学，免疫学的検討をした。

## II 方法

タイマー設定により自動的に夜間AM1:00~AM6:00の5時間マイナスイオンが発生する気化+放電式発生器を3台作成し，健康人ボランティアの自宅の寝室に設置した。マイナスイオン発生有無の順序を3週間ずつ二重盲検で入替え暴露した。対象は，10例で男性9例，女性1例である。その年齢は29~51歳であった。

今回用いた気化+放電式マイナスイオン発生器の構造をFig.1に示す。イオン化針の放電により発生したマイナスイオンは水の加熱・気化により産生された水蒸気を荷電させ，大量のマイナスイオン加水蒸気が安定して供給できる<sup>3)</sup>。

1. 循環動態の検討として，一体型手首血圧計（松下電工製 EW284P）を被験者全員に支給し全期間において毎日早朝血圧を自己記録させた。解析は，暴露最終週（第3週目）の7回分のデータを平均化して比較検討した。

2. 各暴露3週間前・後に，その日の気分などの主観的評価を行った。項目は，リウ

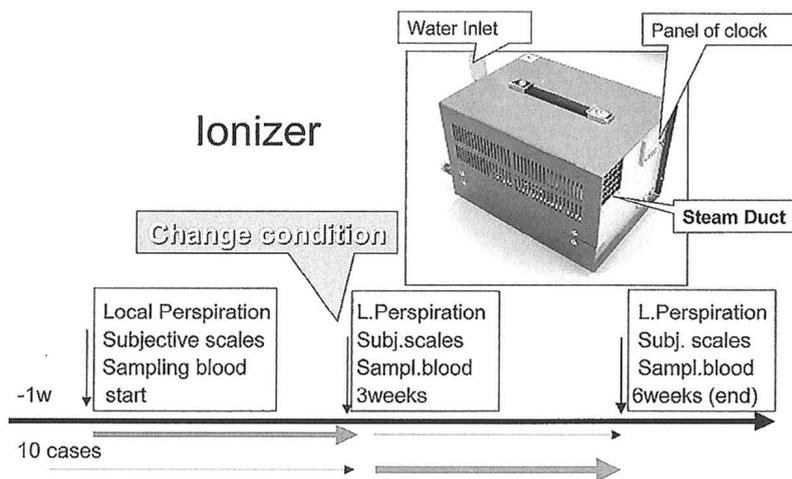


Fig.1 Time course and ionizer

Table.1 Subjective scales from AIMS2 (arthritis Impact measure score)

Questions	Negative ions	Without ions	P(paired-T)
Q1 精神的緊張状態	2.8±0.78	3.2±0.91	0.083
Q2 神経過敏になって困る	3.1±0.56	3.2±0.78	0.29
Q3 リラックスできること	3.0±1.05	3.0±0.67	0.5
Q4 のびのびとした精神状態	2.7±1.05	2.8±0.79	0.39
Q5 静かで落ち着いた平和な気分	3.2±0.63	2.6±0.51	*0.011
Q6 物事を楽しくやれる	3.1±0.87	2.7±0.67	*0.018
Q7 沈滞した、憂うつな気分	3.0±0.94	3.1±0.73	0.33
Q8 うまくいかないと感じる	3.4±0.84	3.6±0.69	0.25
Q10 楽しいことがないとふさぎ込む	4.1±0.73	3.6±0.51	*0.047
Q11 おくうと感じる	3.1±0.31	2.8±0.63	*0.040
Q12 仕事が気になり眠れない	3.4±0.51	3.5±0.97	0.339
Q13 ストレスを感じる	2.7±0.94	3.0±0.67	0.096
Q14 精神的な疲労感	2.5±0.84	2.9±0.87	0.051
Q15 仕事が気になり朝早く目覚める	3.1±0.99	2.9±0.99	0.27

Worse →2→3→4→5 Better Mean±S.D.(n=10) \*p<0.05

マチなどで用いられる AIMS 2 (arthritis impact measure scale) のうち、鬱状態、気分、緊張度を示す項目について 5 段階評価をした (Table 1)。

3. 各暴露 3 週間前・後に、局所発汗計 (スズケン社 Perspilo) を用いて生理学的検討を行った。これは、精神的・身体的ストレスによる交感神経緊張の程度を、リアルタイムに発汗量の連続測定で記録できるものである<sup>2)</sup>。この機器を持参し、検者が被験者の職場・家庭を早朝 (AM 7 : 30 - 8 : 30) に訪問し、就業直前に①逆算計算試験 (3 桁の数字から 7 を減算させる)、②数字逆唱試験 (4 桁のランダムな数字を聞かせ逆唱させる)、③名称想起試験 (野菜名を 10 個以上列挙させる)、④深呼吸試験 (5 秒吸気呼気の規則的深呼吸) をそれぞれ 1 分ずつ負荷し、連続的に母指球での局所発汗量を記録した。

4. また各暴露 3 週間前・後の前述の局所発汗検査の直後に採血し一般生化学、白血球、白血球分画、リンパ球分画を測定した。リンパ球分画の測定は、フローサイトメトリーを用いて全血二重染色法で行った<sup>4)</sup>。

5. 統計学的検討は Microsoft Excel2000 の組み込み関数 paired t-test で行い、有意水準を 0.05 とした。

Table.2 Blood pressure and local perspiration

	With ions	Without ions
A. (mmHg)		
systolic BP	124 ± 9.1	124 ± 10.1
diastolic BP	79.2 ± 9.95	80.1 ± 9.72
HR(/min)	66.3 ± 6.88	65.8 ± 6.86
B. Local perspiration (mg/min)		
calculation	0.44 ± 0.62	0.4 ± 0.59
reverse numbers	0.43 ± 0.7	0.45 ± 0.78
recall	0.23 ± 0.26	0.37 ± 0.86
deep breath	0.38 ± 0.52	0.4 ± 0.71

n=10

### III 結果

1. 検討症例で脱落症例はなく、不快な症状や問題となる自覚症状を訴える例はなかった。血圧・脈拍数などの循環動態の検討では、統計学的に有意の差はなかった (Table 2A)。

2. 主観的な評価所見の結果を示す (Table 1)。統計学的にイオン暴露群がイオン非暴露群より有意に増悪するアンケート項目はなかった。イオン暴露群がイオン非暴露群より有意に良好であるアンケート項目が 4 項目に認められた。

3. 局所発汗量の検討を Table 2B に示す。イオン暴露群は、名称想起試験による発汗量が少なく、イオンが交感神経緊張を減少させ、ストレスを軽減させる傾向が示された。

Table.3 Laboratory Findings

	Before		With Ions		Without Ions	
Total protein	7.09 ± 0.57		7.1 ± 0.47		7.13 ± 0.55	
Total bilirubin	0.5 ± 0.19		0.5 ± 0.18		0.5 ± 0.21	
GOT(AST)	25.6 ± 4.97		25.7 ± 5.72		27.5 ± 5.08	
GPT(ALT)	28.5 ± 14.3		29 ± 17.5		27.8 ± 15.2	
LDH(LD)	392 ± 70.6		361 ± 54.4		418 ± 90.5	
γ-GTP	32.3 ± 15.4		33.2 ± 15.4		33.2 ± 16.3	
Ch-E	377 ± 82.6		377 ± 82.7		381 ± 83.4	
T.Cholesterol	190 ± 36		193 ± 42.5		194 ± 38.3	
Na	139 ± 3.3		144 ± 2.23		143 ± 2.46	
K	4.84 ± 0.46		4.5 ± 0.43		4.68 ± 0.57	
Cl	104 ± 1.85		106 ± 1.78		106 ± 1.75	
WBC	6980 ± 1394		7580 ± 1944		7210 ± 1717	
RBC	487 ± 64.1		482 ± 55.8		480 ± 61.3	
Hb	15.1 ± 1.3		15.1 ± 1.06		14.9 ± 1.21	
Ht	44.4 ± 3.53		43.7 ± 3.12		43.7 ± 3.7	
Platelet	24 ± 3.36		23.4 ± 3.36		23.4 ± 3.34	
MCV	91.9 ± 7.27		91.2 ± 6.68		91.5 ± 6.48	
MCH	34.3 ± 8.85		31.5 ± 2.43		31.3 ± 2.23	
MCHC	34.1 ± 0.45		34.6 ± 0.55		34.3 ± 0.44	
Basophil(%)	1 ± 0		1 ± 0		0.88 ± 0.35	
Eosino(%)	2.89 ± 1.45		3.11 ± 1.83		3.89 ± 2.47	
Seg(%)	59.4 ± 7.65		60.7 ± 5.96		56.3 ± 7.39	
Lym(%)	32.2 ± 7.61		30.9 ± 6.69		33.9 ± 6.51	
Mono(%)	5 ± 1.05		5 ± 2.05		5.6 ± 2.46	
Lymphocyte subsets						
CD4	39.6 ± 8.92		40.6 ± 10.7		39.5 ± 10.4	
CD8	32.6 ± 6.82		31.8 ± 8.32		32.3 ± 8.39	
CD3	66.4 ± 8.97		69 ± 9.57		68 ± 8.85	
SupInd(CD45RA)	19.3 ± 5.5		20.5 ± 6.22		20 ± 5.92	
B(DR)	14.8 ± 3.58		14.8 ± 4.14		15.2 ± 3.79	
CD8DR	7.31 ± 3.65		7.47 ± 4.19		7.21 ± 3.76	
γδ	0.06 ± 0.05		0.07 ± 0.08		0.09 ± 0.09	
NK(CD16)	20.9 ± 7.8		18.6 ± 6.33		22.4 ± 8.75	

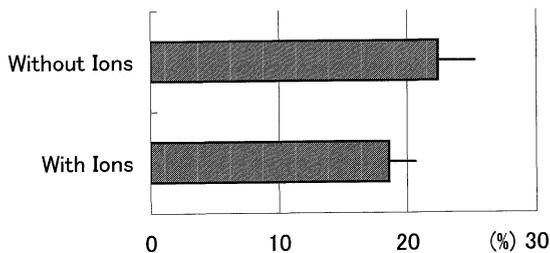


Fig.2 Natural killer cells Mean ± S.E.

4. 血液検査所見を示す (Table 3)。生化学, 白血球数, リンパ球数に差異を認めず, イオン暴露により, 肝機能, 腎機能などへの障害作用がないことが示された。リンパ

球分画ではCD16陽性NK細胞がマイナスイオン暴露後 $18.6 \pm 6.3\%$ , イオン非暴露後は $22.4 \pm 8.8$ とマイナスイオン暴露後の低下が示された (Fig.2)。

#### IV 考案

自然界において, 滝などでは激しい水粒子の衝突によりマイナスイオンが発生し, 5000個/cc以上の大量のマイナスイオンが発生することが観察される。この効果はレナード効果といい純粋な放電式による空気中イオンの発生に比べ人体に有害なオゾンの発生もなく, この水破砕式マイナスイオ

ンは肺胞の深部まで拡散する特徴を有する<sup>4)</sup>。

マイナスイオンの効果については、自験例を含め過去の報告のほとんどは数時間以内の短期暴露試験により検討されてきた<sup>1,2)</sup>。従来の研究では、数時間の暴露でも作業能率の改善<sup>6)</sup>、拡張期血圧の低下などの交感神経緊張度低下が示されている<sup>7)</sup>。

今回、3週間の長期に及ぶマイナスイオン暴露試験を行い、アンケート評価による自覚症状の改善が示され、過去の報告に矛盾しない結果を得た。自覚症状スケールは多数あるが、多くは検査に時間がかかりその検査自体が心理的ストレスとなる。今回採用したスケールは関節炎疾患用のAIMS 2を改変したものであり簡便であるが、二重盲検にてマイナスイオンのヒトへの有意な心理的作用が示されたことは有意義である。今後の検討によりさまざまな方面への応用が期待されるものである。快適性の改善については自験例でマイナスイオンの脳波  $\alpha$  波の増加で報告した<sup>1)</sup>が、同様に森林浴や温浴の快適性についてもマイナスイオンの関与が考えられる。われわれは広い銭湯での入浴が、狭い浴室での入浴より快適で脳波  $\alpha$  波の高い発現性を示した<sup>8)</sup>が、これもマイナスイオンが関与している可能性がある。

循環動態や発汗に示される交感神経緊張の改善などは、従来の短時間暴露の検討に比べればその差異は少なかった。今回の検討は、マイナスイオン暴露は深夜に行われ、これらの生理学的検査の測定は時刻AM 7:30-8:30のマイナスイオンの暴露終了後であることが関係しているものと思われる。これら生理学的な指標はマイナスイオン暴露中に出現し、暴露終了後マイナスイオンの影響は減少するものと考えられる。

過去、短期暴露で検討できなかった人体への障害性については、血液生化学的に検

討した。一般的な肝臓、腎臓機能などの血液生化学検査での異常は認められなかったことより長期マイナスイオン暴露による障害はないと考えられる。なお同原理の酸化+放電式マイナスイオン発生機器を用いた1群6匹のマウスによる先行動物実験では、100万個/ccの高濃度マイナスイオン28日間暴露で血液生化学・剖検所見において対照群との差異は認めず安全性は示されていると考える<sup>9)</sup>。

一方、リンパ球サブセットによるNK細胞の検討では、マイナスイオン暴露でNK細胞の減少が認められた。過去の免疫学研究では、感染、温熱物理刺激、過酷な運動などの多くの種類の負荷に対して非特異的なNK細胞の増加が示されている<sup>9)</sup>。これらのストレス性のリンパ球サブセット変動は、ストレス暴露短時間で現れ、ストレスが除かれると20~30分間で前値に復することが示されている。今回マイナスイオン暴露によりNK細胞の低下が示されたことは、免疫学的にもストレスが少ない状態となっていることを示すものである。マイナスイオンのヒトへの作用機序に免疫学的機構の関与も考えられ、今後の研究の進展が期待されるものである。

このマイナスイオンのヒトへの効果発現機序は、現在なお明らかとされていない。前述の免疫学的な差異も、あくまでストレス低下による結果であり、効果発現の機序の解明とはいえない。ヒトと空气中マイナスイオンの接点は、表面積が大きく呼吸器官である肺にあると推測される。マイナスイオンは拡散による肺胞への深達度が大きく<sup>4)</sup>、マイナスイオンサウナも熱伝播作用が高くサウナ効果を高めることが示された<sup>5)</sup>。筆者は、エルゴメータによる運動能の検討においてマイナスイオンが最大運動量を増加させ<sup>2)</sup>、さらに嫌気性呼吸代謝閾値ATを増加させることを示しており(未発表)、この方面からの検討をさらに進めて

いくつもありである。

## V 結語

本研究にあたり、マイナスイオン発生装置を作成していただいた松下電工（株）電器分社 R&Dセンター 山内俊幸氏に深謝する。（本論分の概要は2000年5月小松市 第58回日本温泉気候物理医学会総会で発表した。）

### 参考文献

- 1) 渡部一郎, 野呂浩史, 眞野行生: 空気中のマイナスイオンが脳波に与える影響, 日温気物医誌61 (3), 121-126, 1998.
- 2) 渡部一郎, 眞野行生: マイナスイオン空気洗浄機による快適環境の創造. 臭気の研究29 (6), 432-439, 1998.
- 3) 山内俊幸, 渡部一郎: 創空気システムと空気マイナスイオンの研究・臭気の研究31 (6) : 319-325, 2000.
- 4) 小口喜三夫, 段恵軍, 高福祿, 永田哲士: 超微粒子ネブライザーによる水粒子の呼吸気内への取込みに関する研究. 医学のあゆみ 163 : 623-624, 1992.
- 5) Watanabe, I., Noro, H., Ohtsuka Y., Mano, Y. and Agishi, Y. : Physical Effects Of Negative Air Ions In A Wet Sauna, J Int. Biometeorol 39, 107-112, 1997.
- 6) Hawkins L. H., Barker T. : Air ions and human performance : Ergonomic21 : 273-278, 1978.
- 7) 琉子友男, 北一郎, 桜井智野風, 安松幹展, 相原康二: 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. 臨床環境医学会 6 : 34-40, 1997.
- 8) Yabunaka, M., Ohtsuka, Y., Watanabe, I., Noro, H., Agishi, Y. : Influence of size of bath on the appearance of  $\alpha$  waves in electroencephalograms during bathing. J. J. A. Phys. M. Baln. Clim. 59, 105-109, 1996.
- 9) 渡部一郎, 中馬孝容, 眞野行生, 佐川昭: 慢性関節リウマチの温泉浴が末梢血 CD8, NK細胞に与える効果. 臨床リウマチ学会誌 4 : 254-259, 1996.