

## 負イオンの生理効果

## Physiological Effects of Negative Air Ions

渡部 一郎\*

Ichiro WATANABE \*

**Key Words** : Negative Air Ions, Physical Therapy, Physiological Effect, Perspiration Metabolic Effect, NK Cell.

## 1. はじめに

気管支喘息やリウマチ, 慢性疼痛 (CRPS, RSD ; 交感神経緊張性ジストロフィ) などの疼痛性疾患は, 古くから気温・天候・湿度などが強く影響することが知られ, 保養地療法・転地療法が適応される疾患である。ある関節リウマチ患者例について疾患因子 (棒グラフ) と気候因子 (折れ線グラフ) を比較したものを図1に示すが, 症状増悪と気圧低下などの気候因子の変動との密接な関係が観察される。これは, 患者や臨床家が一般的なこととして認知しているにもかかわらず, 気候環境因子の疼痛性疾患への影響の機序はいまだ解明されていない。

近年, 大気中負イオン (空気中マイナスイオン) の正確な測定が可能となり, 温泉地などの保養地療法・タラソテラピーを行う自然環境では多数存在することが知られ, 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。この自然療法の科学的根拠として空気中マイナスイオンとの関連が考えられてきている。

空気中のマイナスイオンの構造・その人体への作用機序やその有用性や有害性について研究は追いついていない。マイナスイオンのヒトの健康や臨床応用には解決すべき問題がなお無数にあるものと思われる。疏子らは, 700 ページ以上に及ぶ空気マイナスイオン応用事典<sup>1)</sup>を発行し, 最近までのマイナスイオン研究を総括した<sup>2)</sup>。

筆者は, リハビリテーション医療のなかで, 温熱物

理療法がヒトに与える生理作用について研究してきた。温浴など温熱物理療法では, 直接局所の筋や組織を伸張させ痙縮を改善し, 知覚神経や自律神経を介した末梢血管拡張作用, 疼痛物質除去, オピエイトホルモンなどによる疼痛軽減作用が示される。また低出力レーザーを交感神経節や経穴へ照射した時の, 同様の末梢循環の改善, ストレス性ホルモンや交感神経系ホルモンの低下, NK (Natural Killer) 細胞などのストレス性免疫担当細胞の応答がみられることを報告してきた<sup>3~10)</sup>。

この数年, 筆者は, マイナスイオンがヒトの健康に及ぼす効果の共同研究に関わっている。現在の私の立場は, マイナスイオン発生器が, 健康なヒトの生理機能にどのような反応を起こすかを二重盲検法で検証することに止まっている。

医療に応用するには, それに耐えるエビデンスを集め, 動物実験, 各種段階の臨床試験を経て, 有用な治療量・手法を定める必要がある。また医療用具承認を得なければならない。これらの手順を踏まず, マイナスイオン発生器を医療に用いることは不可能である。たとえば疼痛患者にイオンを治療に用いて症状が少しでも増悪した場合, あるいは正しい別の治療を受ける機会を失った場合, どちらも患者にとって大きな被害をもたらす, 大変な責任が発生する。

## 2. マイナスイオンの発生・計測

現在容易に利用できるマイナスイオンの発生方式は, 水流から発生する水破砕式 (A) と, 電気的に発生する放電式 (B), そしてトルマリン鉱石などに紫外線, 放射線エネルギーが作用し発生する方式 (C) がある。計測には, 神戸電波社またはダン科学社の測定器を使用した。

(A) 水破砕式

噴水・滝などの激しい水流では, 水分子が金属の壁

平成 14 年 12 月 24 日受理

\* 北海道大学医学部附属病院リハビリテーション科  
(〒060-8638 札幌市北区北 15 西 7 丁目)

\* Rehabilitation Medicine, Hokkaido University  
N15, W7, Sapporo 060-8638

に衝突しマイナスイオンが産生される。発見者の P. Lenard にちなみレナード効果と呼ばれる<sup>11)</sup>。保養地療法の作用機序に参与する。この装置は重く複雑で騒音や、水の汚染や感染に注意が必要となる。われわれは、ジオクト社の協力で恒温室の空調に組み込む形で、以下の実験の恒温・恒湿環境にイオン発生源として実験に利用した(図2恒温室)。現在この方式で市販されているイオン発生装置は加湿器型(松下精工社製)、湿式サウナ型(セラコーポレーション社製)などがある。

(B) 放電式

現在、多種多様な家電機器として製造・販売されている形式である。小型な電極に高電圧放電をさせ大量のマイナスイオンを発生する。原理上オゾンが発生しやすく、オゾン臭と呼ばれる独特の臭気も伴う<sup>12)</sup>。また、発生器の噴出口からの距離や、空気の対流などでマイナスイオン量は激減する。実験に使う場合、オゾンの軽減に留意し、マイナスイオンがおもに呼気を介してヒトに作用する仮定の元で、被験者の顔面部位で測定する必要がある。エアコン(東芝キャリア製)や集塵機(山武社製)など利用できる。

(C) トルマリンなどの鉱石

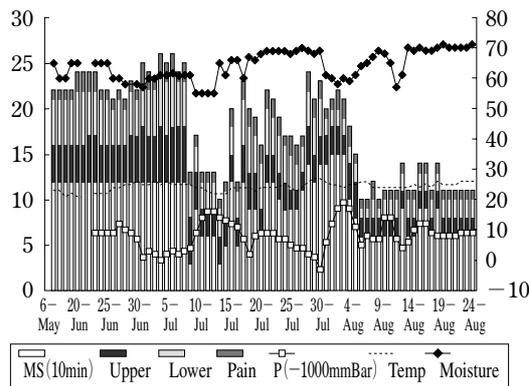


図1 リウマチ日記(棒グラフ;左スケール)と気候因子の関係(折れ線グラフ;右スケール)  
MS:こわばり時間を10分=1点~120分=12点とスコア化, Pain:疼痛なし0~疼痛最大2点, Upper, Lower:上下肢各5動作(正常0点~不能4点の合計)  
P:気圧, Temp:温度(°C), Moisture:湿度(%)  
(日本リウマチ協会のリウマチ手帳によるADLスコア)

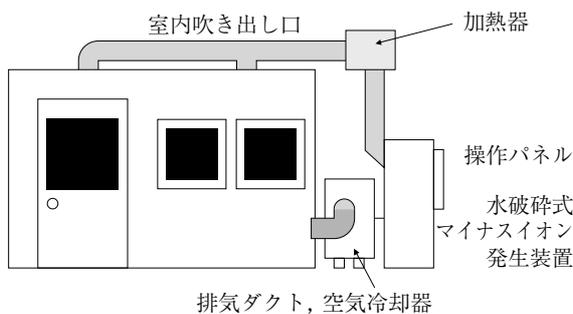


図2 実験恒温室  
25℃温度50%湿度の人口気候室

置物, アクセサリーなど多種多様の製品が市販されている。通常の利用ではマイナスイオン量は通常環境値以下で, ヒトへの生理効果を調べる実験系を組むことは困難である。

3. 研究環境: 恒温恒湿室について

空気中のマイナスイオンの研究には, 気温・湿度などの条件を一定にする必要がある。人工気候室で実験を行う必要がある。当研究施設では, 実験用恒温室を設置してこの中で各種イオン発生器を用いた二重盲検試験を行っている。これは通常に空調されている研究室内に設置した。実験用恒温室の構造は, 断熱パネルで外気と遮断された3坪(縦360cm, 横270cm, 高さ220cm)の空間と水破碎式マイナスイオン発生機, 空気冷却器, 空気加熱器などからなる。この人工気候室では温度, 湿度の調整やマイナスイオンの発生の有無を外部でコントロールできる(図2)。それぞれの運転状況を室内の被験者にわからないように切り替え運転し, 不感温度・湿度である25℃湿度50%の環境でマイナスイオンの生理作用を検討した。

4. 対 象

空気環境に対するヒトの生理反応は, まず個人によるさまざまな差異がみられる。その差異は, 年齢, 性, 体格の身体的な要因が大きく関与する。この影響を除くためには, 少なくとも同一被験者が空気中マイナスイオンの有るときと無いときの1回ずつを被験者として施行する。

空気中マイナスイオンの有る場合と無い場合の2回実験する場合, 同一個人でも両方の条件はまったく同等とならない。そのときの身体健康状態, 精神状態(緊張度), 疲労度など均一にすることは困難である。ヒトでは朝起きて夜寝るまでの1日の生活サイクルや, 日曜日に休養し月曜から金(土)曜日まで働くという週的生活サイクル, また季節・年のサイクルが存在する。これらによる誤差を少なくするため検査は同一曜日, 同一時刻帯に施行順序を回数ずつとなるように二重盲検法で施行した。

被験者は本学の男性学生ボランティアとしている。この種の生理機能の検討では, はじめての検査, 採血では精神的なストレスが多く, 次第に慣れの現象で変化してくることが知られている。このため同じ被験者群で一連の手続きを数回繰返した後のデータが信用できる。

5. 脳 波

脳波計(NEC製SyNAX1100)を用いて, 脳表面の電気活動を記録する。脳波検査はてんかんなど脳機能や障害部位の臨床検査として利用されるが, その周波数成分のα波がヒトの疲労度, リラックス度の指標と

して利用されてきている<sup>6)</sup>。

実際の計測は、実験室入室後、脳波の電極を装着し、閉眼安静状態で連続60分間脳波計測し、30秒間ごとに出力される周波数成分の割合を記録保存する(δ: 2-3.75Hz, θ: 4-7.75Hz, α1: 8-9.75Hz, α2: 10-12.75Hz, β1: 13-19.75Hz, β2: 20-30Hz)。脳波の解析はデータ量が膨大で、どの時点でどの値を比較するか基準が必要である。また脳波は眼球運動や頭部筋肉の緊張度、思考・心理的影響で先の周波数成分(2~30Hz)以外のノイズ周波数成分が増え、分類可能な周波数成分(前述のα, β, δ, θ)の合計が60%以下となり利用不能となる。今回の脳波解析では、30秒ごとの全データを利用し、ノイズでα~θ波の割合の合計が60%以下のデータを機械的に除いた全データを10分ごとに加算した値について比較検討した。

マイナスイオンは脳波α2波(10Hz~12.75Hz)分画を増加させることを示した<sup>13)</sup>。水破碎式マイナスイオンと放電式イオン発生器(松下電工社製イオンフォーレ)の比較検討も追試した。この場合、放電式では通常環境に比べ有意のα波の増加を示したが、マイナスイオン測定量は放電式が水破碎式より少なく、むしろ放電式で発生する芳香がα波の増加に与えた可能性があると考えられた(図3)<sup>14)</sup>。

## 6. 発汗量について

発汗にはこの体温調節性の温熱性発汗と精神的発汗がある。嘘発見器は精神的発汗による皮膚電気抵抗変化を測定する。われわれの用いた発汗計はPerspiro OSS-100, 2チャンネル用のスキノス社製KSD-2000である。これらの発汗計はセンサ内を常に除湿し発汗量

を比較的高精度に定量できる。これを手のひらに装着し計測すると、会話や計算作業などのストレス、呼吸・体位変換などで発汗量のリアルタイムな変化が観察される(図4)。末梢神経や交感神経の損傷で発汗活動がみられなくなる。

計算・精神的負荷は慣れにより、同じストレスでも1回目と2回目では発汗量の減少を認める傾向があり注意を要する。計算機能・記憶の喚起などの課題を与え、1分間あたりの精神的発汗量を定量した検討では、水破碎式マイナスイオン(左棒グラフ)でも放電式マイナスイオン(右棒グラフ)でも通常環境(中央グラフ)より局所発汗量が低下した(図5)。

## 7. 片手冷水浸水試験

交感神経は、末梢血管を収縮しその支配部の皮膚温度を低下させる。冷水負荷後の皮膚温測定も自律神経機能評価として有用である。健康人において、片手のみ15℃3分間の冷水負荷を行う。冷水負荷を加えた側の手指では、交感神経緊張が強ければ、血管収縮のため皮膚温がなかなか回復しない。これは冷水刺激が全身的なストレスとなり、交感神経を介した末梢血管収縮による。糖尿病など自律神経障害=交感神経機能の指標となる<sup>5, 11)</sup>。図6に示すように、空气中マイナスイオン(山武社製放電式)は、冷水負荷後の手指温度が高く冷水負荷からの早い回復を示した。これは、マイナスイオンが、交感神経の緊張を下げることを示している。

## 8. 最大運動量について

ヒトの仕事効率として、エルゴメータと呼気ガス分

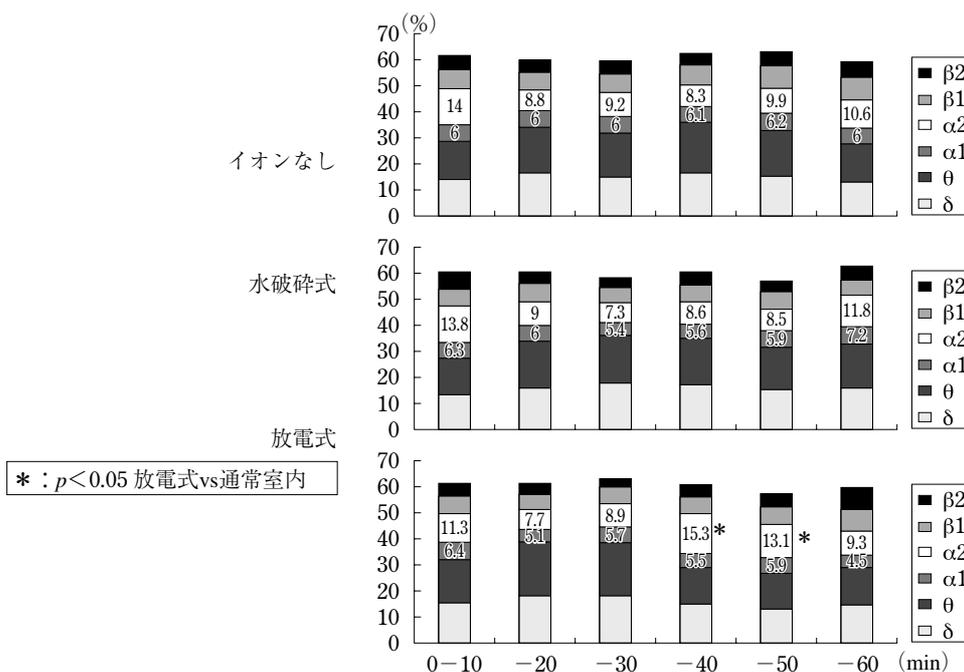
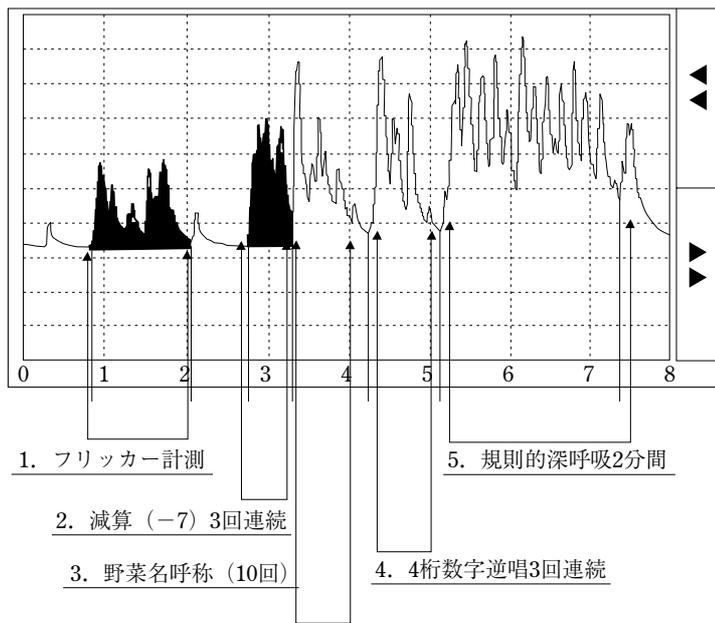


図3 脳波周波数の経時的変化



Kenz-Perspiro社  
OSS100

図4 局所発汗計

析装置 (Sensor Medics 社製 Vmax29 C) を用いた。10人の健常人で、3分間のウォーミングアップ (20W) 後、20W/分と少しずつ負荷量を上げていき、各自が可能な最大運動量を求めた。

総運動量は、通常環境の場合  $70.3 \pm 22.3$  kcal に比べ、放電式マイナスイオン (東芝キャリア社エアコンディショナー) では  $72.8 \pm 16.4$  kcal, 水破砕式マイナスイオン (松下精工社製) では  $73.8 \pm 14.7$  kcal とどちらのマイナスイオンでも増加し、特に水破砕式イオンは有意の ( $p < 0.05$ ) 総運動量の増加を認めた。空気中マイナスイオンの存在は総運動量を高め、運動効率を高めることが示された。この方法では、意欲の亢進・疲労度の減少、運動中の爽快感も関係する可能性も考えられる。

### 9. ストレス性ホルモン、免疫担当細胞の変化

空気中マイナスイオンと、ヒトの作業・運動効率や、交感神経緊張の抑制について、ストレス系ホルモン検査、運動代謝検査、ストレス性免疫応答で評価した。

前述と同様の漸増式運動負荷 (エルゴメータ) を9人の健常者に行い、運動前 (表1; 1列目 Pre-Exercise), 最大運動時 (表1; 2列目 at Maximum), 運動負荷終了後15分後 (表1; 3列目 Recovery (15 min)) の3回採血検査をした。運動負荷により、運動代謝である乳酸、ピルビン酸、アドレナリン、ノルアドレナリン、コーチゾルなどのホルモンは最大運動時に増加し運動終了後徐々に正常化する。同様に、白血球、NK細胞数やその活性も最大運動時に一過性に増加する。

空気中マイナスイオン (山武社製放電式) は、最大運動時の運動代謝指標である乳酸値やピルビン酸の増

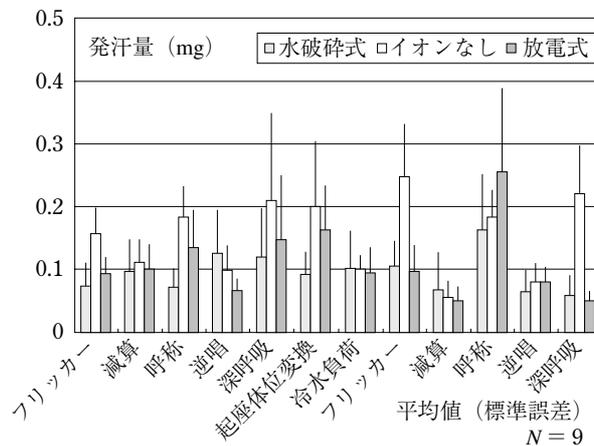


図5 局所発汗量

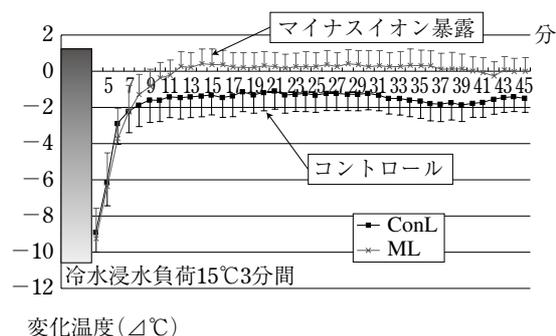


図6 冷水負荷試験

加を有意に抑制し、運動代謝を改善させることが示された (表1; 4列目)。また、運動終了後15分目では、交感神経作動性ホルモンであるカテコラミン (ノルアドレナリン, ドパミン) は有意の改善を示した (表1; 5列目)。ストレスによる免疫担当細胞であるNK

細胞数とその活性は、統計学的有意差は示さなかったもののマイナスイオンが回復を早める傾向を示した<sup>15)</sup>。

### 10. マイナスイオンサウナの検討

水破碎式マイナスイオンサウナでは、同じ条件の湿式サウナ（42℃湿度100%）と比較し、マイナスイオンが有る場合、発汗量や体温上昇効果などサウナ浴効果を高めることを示した<sup>16,17)</sup>。

### 11. 長期マイナスイオン暴露の効果

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+放電式発生器を作成し、健康人ボランティアの自宅の寝室に設置した。10例の健康人に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れ替え暴露した（図7）。用いたイオン発生器は、放電により水蒸気を荷電させ、大量のマイナスイオン加水蒸気が安定して供給できる。またマウスによる同発生器の検討では100倍量（20~100万個/cc）28日連続暴露で血液生化学検査や剖検所見で安全性を証明した<sup>18)</sup>。

各暴露3週間前後に、リウマチのQOL評価法として用いられるAIMS2（arthritis impact measure scale）のうち、鬱状態、気分、緊張度について5段階評価をした（表2）。各暴露3週間前後に採血検査した<sup>9)</sup>。

その結果、自覚症状や一般生化学検査や血圧・脈拍数などに有意差は認めなかったが、イオン暴露群がコントロール群より有意に良好なQOLアンケート項目が4項目に認められた（表2）。リンパ球分画ではCD16陽性NK細胞はマイナスイオン暴露後18.6±6.3%、コントロール群は22.4±8.8%とマイナスイオン暴露後の低下が示された（図7）<sup>19)</sup>。

### 12. 最後 に

国内では、空調機や加湿器などマイナスイオン発生装置など多くの商品がすでに多数市販され、研究も徐々に進められてきている。この科学性をより確固たるものとして、健康医学、環境医学への応用を期待したい。

温熱をはじめとする物理療法は、訓練前に導入することにより、疼痛軽減、可動域訓練などに成果を認める。一方障害者の意欲・集中力の欠如がリハビリ治療の大きな妨げになっており、意欲を高めるために多くのマンパワー、時間が割かれているのが現状である。意欲・集中力を高めるアプローチ法は、訓練効果のみならず医療コストの観点からも有用な研究と思われる。空気中マイナスイオンの研究は、物理療法としての身体生理学的な側面、意欲などの心理学的な側面両方からリハビリテーション医療に大きく関わってくるもの

表1 運動負荷試験による最大運動時と運動終了後15分後のホルモン、NK細胞

	Pre-Exercise		at Maximum		Recovery (15min)		最大と負荷前の差 Δafter-pre		15分後と負荷前の差 ion無とΔ15min-pre	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
* p < 0.05 (N = 9)										
<b>コントロール</b>										
乳酸 (3-17) mg/dl	12.98 ± 8.32		81.29 ± 21		55.04 ± 14.9		68.31 ± 21.3*		42.1 ± 20.2	
ビルビン酸 (0.3-0.9) mg/dl	1.128 ± 0.59		2.33 ± 0.6		2.688 ± 0.85		1.203 ± 0.48*		1.56 ± 0.76	
コーチゾル (4-18) μg/dl	13.11 ± 3.73		15 ± 5.16		15.09 ± 5.65		1.888 ± 2.7		1.98 ± 3.03	
アドレナリン (< 100) pg/ml	41.38 ± 10.6		148.8 ± 109		65.38 ± 18.1		107.4 ± 107		24 ± 20.9	
ノルアド (100-450) pg/ml	313.5 ± 118		1275 ± 822		521.9 ± 215		961.1 ± 777		208 ± 162*	
ドパミン (< 20) pg/ml	8.75 ± 6.39		11.38 ± 8.14		13 ± 9.02		2.625 ± 10.2		4.25 ± 9.82	
セロトニン (0.04-0.35) μg/ml	0.078 ± 0.02		0.104 ± 0.03		0.1 ± 0.05		0.026 ± 0.02		0.02 ± 0.03	
白血球 (/μl)	5813 ± 1472		8213 ± 2215		6863 ± 1577		2400 ± 1301		1050 ± 1439	
赤血球 (× 10 <sup>4</sup> /μl)	488.9 ± 43.2		511.1 ± 55.1		505.6 ± 41.4		22.25 ± 20.3		16.8 ± 13.9	
血小板 (× 10 <sup>4</sup> /μl)	24.06 ± 2.53		24.73 ± 2.79		24.18 ± 2.42		0.663 ± 1.28		0.11 ± 1.27	
NK (CD16) 細胞数 (/μl)	538.1 ± 257		1430 ± 680		764.1 ± 397		892.1 ± 608		226 ± 492	
NK 細胞活性値 (%)	50.13 ± 14.1		59.38 ± 11.4		58.88 ± 11.4		9.25 ± 11.9		8.75 ± 13.5	
<b>マイナスイオンあり</b>										
乳酸 (3-17) mg/dl	12.68 ± 5.87		69.35 ± 18.6		48.31 ± 8.35		56.68 ± 16.8		35.6 ± 12.3	
ビルビン酸 (0.3-0.9) mg/dl	1.158 ± 0.53		2.08 ± 0.44		2.571 ± 0.35		0.923 ± 0.45		1.41 ± 0.45	
コーチゾル (4-18) μg/dl	12.81 ± 5.97		13.88 ± 5.83		15.3 ± 4.78		1.063 ± 2.41		2.49 ± 5.45	
アドレナリン (< 100) pg/ml	31.5 ± 12.6		98.5 ± 52.2		48.25 ± 17.3		67 ± 54.4		16.8 ± 12	
ノルアド (100-450) pg/ml	269.5 ± 69.6		1028 ± 489		384 ± 144		758.4 ± 465		115 ± 119	
ドパミン (< 20) pg/ml	11.25 ± 7.01		15.38 ± 5.01		9.25 ± 9.91		4.125 ± 4.73		-2 ± 7.45	
セロトニン (0.04-0.35) μg/ml	0.045 ± 0.03		0.061 ± 0.03		0.046 ± 0.02		0.016 ± 0.02		0 ± 0.03	
白血球 (/μl)	5300 ± 904		7638 ± 1346		5738 ± 1314		2338 ± 843		438 ± 825	
赤血球 (× 10 <sup>4</sup> /μl)	480.3 ± 39.5		518.5 ± 26.4		491.9 ± 45.2		38.25 ± 32.7		11.6 ± 11.4	
血小板 (× 10 <sup>4</sup> /μl)	23.36 ± 2.82		24.86 ± 3.04		23.69 ± 2.8		1.5 ± 0.55		0.33 ± 0.93	
NK (CD16) 細胞数 (/μl)	457.3 ± 236		1359 ± 506		559.1 ± 327		901.7 ± 396		102 ± 169	
NK 細胞活性値 (%)	52.83 ± 13.2		68 ± 5.04		55.75 ± 13		15.63 ± 11.9		3.38 ± 8.5	

表2 長期マイナスイオン暴露によるQOL評価項目 (AIMS2)

質問 (省略)	イオン暴露	イオンなし	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
Q9 ‘楽しいことがない’とふさぎ込む	4.1 ± 0.73	3.6 ± 0.51	* 0.047
Q10 おっくうと感じる	3.1 ± 0.31	2.8 ± 0.63	* 0.040
Q11 仕事が気になり眠れない	3.4 ± 0.51	3.5 ± 0.97	0.339
Q12 ストレスを感じる	2.7 ± 0.94	3.0 ± 0.67	0.096
Q13 精神的な疲労感	2.5 ± 0.84	2.9 ± 0.87	0.051
Q14 仕事が気になり朝早く目覚める	3.1 ± 0.99	2.9 ± 0.99	0.27

悪い1→2→3→4→5良い 平均±標準偏差 (N = 10)

%リンパ球 (N = 10)	イオン暴露 (3wks)	コントロール	p 値
CD4	40.61 ± 10.65	39.45 ± 10.44	
CD8	31.78 ± 8.31	32.32 ± 8.38	
CD3	68.96 ± 9.56	67.997 ± 8.84	
CD4 + CD45RA	20.46 ± 6.22	19.99 ± 5.91	
B (DR)	14.79 ± 4.14	15.2 ± 3.7	
CD8DR	7.47 ± 4.188	7.21 ± 3.75	
γδcell	4.53 ± 1.71	5.37 ± 1.75	
NK (CD16)	18.551 ± 6.32	22.44 ± 8.75	0.072

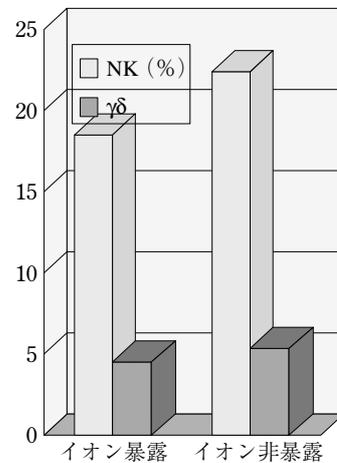


図7 長期マイナスイオン暴露によるリンパ球サブセットの変動

と思われる。

ここに示した私の研究の多くは、共同研究や委託研究で当初懐疑的にすすめられたため、検討数が十分でなかった。この点を反省し、今後は統計学的検討に耐える実験プランを組み、またその機序に関わる研究をなお慎重にすすめようと思う。

引用文献

- 1) 琉子友男, 佐々木久夫: 空気マイナスイオン応用事典, 人間と歴史社, 東京 (2002)
- 2) 琉子友男: 臨床環境, **10**, 70-77 (2001)
- 3) Watanabe, I., Yabunaka, N., Otsuka, Y. and Agishi, Y.: *Biometeorology*, **3**, 846-862 (1994)
- 4) 渡部一郎, 阿岸祐幸, 野呂浩史, 藪中宗之, 大塚吉則, 小泉秀雄, 帖佐弘隆: 臨床体温, **14**, 35-42 (1994)
- 5) Watanabe, I., Noro, H., Yabunaka, N., Ohtsuka, Y. and Agishi, Y.: *Biomedical Thermology*, **15**, 109-112 (1995)
- 6) Yabunaka, M., Ohtsuka, Y., Watanabe, I., Noro, H. and Agishi, Y.: *J. J. A. Phys. M. Baln. Clim.*, **59**, 105-109 (1996)
- 7) 渡部一郎, 野呂浩史, 高山 茂, 藪中宗之, 大塚吉則, 矢野寛司: *Biomedical Thermology*, **15**, 203-206 (1995)

- 8) 渡部一郎, 野呂浩史, 中馬孝容, 眞野行生: *ibid*, **17**, 114-119 (1998)
- 9) 渡部一郎, 中馬孝容, 眞野行生, 佐川 昭: 臨床リウマチ学会誌, **4**, 254-259 (1996)
- 10) 渡部一郎, 眞野行生, 姜 貴雲: *Biomedical Thermology*, **20**, 53-58 (2000)
- 11) 小口喜三夫, 段 恵軍, 高 福祿, 永田哲士: 医学のあゆみ, **163**, 623-624 (1992)
- 12) Wolkoff, P., Clausen, P. A., Wilkins, C. K. and Nielsen, G. D.: *Indoor Air*, **70**, 82-97 (2000)
- 13) 渡部一郎, 野呂浩史, 眞野行生: 日温気物医誌, **61**, 121-126 (1998)
- 14) 渡部一郎, 眞野行生: 臭気の研究, **29**, 432-439 (1998)
- 15) Watanabe, I., Hori, K. and Mano, Y.: XIV Congress of the International Society of Electriophysiology and Kinesiology, pp.268-269 (2002)
- 16) 渡部一郎, 野呂浩史, 眞野行生: 臨床環境医, **5**, 12-17 (1996)
- 17) Watanabe, I., Noro, H., Ohtsuka, Y., Mano, Y. and Agishi, Y.: *J. Int. Biometeorol*, **39**, 107-112 (1997)
- 18) 山内俊幸, 渡部一郎: 臭気の研究, **31**, 319-325 (2000)
- 19) 渡部一郎, 眞野行生: 日温気物医誌, **64**, 123-128 (2001)