水道中の亜鉛の研究

Studies on Zinc in the drinking water

九州大学医学部公衆衛生学教室

森川幸雄・増田義人

Yukio Morikawa and Yoshito Masuda

*Department of Public Health (Director: Prof. M. Kuratsune),
Faculty of Medicine, Kyushu University, Fukuoka, Japan*

The drinking water applied to a group of apartment houses in Fukuoka City became white turbid when boiled or left in the air in a few days. To investigate this phenomenon, the water was analyzed by flame spectrophotometry and an animal experiment was carried out to see whether or not it is harmful to mice and goldfishes. The result obtained were as follows:

1. The white turbidity of the water is caused by Zinc originating from the water pipe with Zinc lining.
2. The white turbid sediments contained Zinc and other metals such as silica, calcium, magnesium and some others. This seemed to be one of the reason why a trace amount of Zinc as little as 1 ppm could cause an easily discernible turbidity in water.
3. An eight weeks' observation demonstrated no significant difference in the increasing rate of body weight between the control group of mice and the experimental groups which were given water containing Zn as much as 160 ppm.

I. 緒言

福岡市内某団地（戸数約 250 戸，住民約 900 人）の専用水道水が煮沸または 2～3 日放置しておくとき白濁するので問題になり，県衛生部並びに当教室に調査を依頼された。県衛生部は亜鉛（約 3 ppm）が白濁の原因と断定したが，我々も焰光スペクトル分析並びにキレート滴定法にて白濁の原因が亜鉛であり，亜鉛は水道配管に用いられている亜鉛引鉄管に由来することを確認した。更に団地住民の中には腹痛嘔吐下痢を訴えるものが多いと聞いたので，マウスに亜鉛添加した水を飲まして体重の変化をみた。更に問題の水で金魚を飼育すると死ぬとの訴えがあったので，亜鉛水に金魚を飼って生存日数をみた。我が国の飲料水中の亜鉛の制限量は 1 ppm であるが，亜鉛引鉄管は水道管として広く使用されているので，本例のように制限量以上の亜鉛を含む例も各地で問題視されていると思われるためここに報告する。

II. 実験方法

1. 水道設置並びに水の採取方法

団地水道は水源として，二箇所（井戸）の水を使用し，こ

れらの井戸より直径約 12 cm の亜鉛引鉄管で団地内の汚過装置に導き，ここで汚過して各家庭に配水している。汚過装置にはマンガンゼオライトを用いた理水化学製急速汚過装置を使用している。これは井戸水に鉄が多く含まれている理由によるものである。井戸から汚過装置までの距離はそれぞれ 1 km と 300 m であった。便宜上井戸を 1 号井戸，2 号井戸と名付けた。団地は分譲住宅で面積約 3 万坪，これに汚過した水を亜鉛引鉄管によって配水している。

我々は水源の 1 号，2 号井戸水と団地水道水を採取すると共に，地質による原因を考えて 1 号井戸横にあった農家の井戸水も採取した。団地住宅にはオルガノ製のイオン交換装置を飲用していた家庭があったのでこの水も採取した。対照の意味で大学の水道水も分析した。

2. 水の微量金属元素の分析

1) 焰光スペクトル分析

パイレックス製のピーカーにて，水 500 cc の蒸発残渣をつくり，これを黒鉛電極につめて下記の装置並びに方法で定性分析を行なった。すなわち，分光器には島津 Q-L 170 型大型水晶分光写真器，発光装置には，島津万能発光装置永続弧光を使用した。条件はスリット幅

0.014 mm, 電極間隔 3.0 mm, 露光時間は 45 sec であり, 電極として黒鉛電極を用い同時に焰光を良くするために水銀灯で照射した。

『乾板にはフジプロセス乾板を用いて写真を撮り, 現像液 FD 131 を用いて 20°C 5 min 現像し, その相対的濃度より定性分析を行なった。

2) キレート滴定法による全硬度および亜鉛量の測定

採取月日の異なった団地の井戸および水道の水 50 cc を取り, アンモニア, 塩化アンモン緩衝液 (約 1 cc) および Eriochrom black T 指示薬を加え, 赤色になった溶液が青色になるまで (1/100) N, EDTA 標準液で滴定した。この EDTA 消費量 (cc) を 20 倍すれば検液の全硬度に相当する。新に検水 50 cc を取り, アンモニア, 塩化アンモン緩衝液 (約 2 cc) 10% KCN 溶液 (約 0.5 cc), および Eriochrom black T 指示薬を加え, 赤色になった溶液が青色になるまで (1/100) N, EDTA で滴定した。この時の EDTA 消費量はアルカリ土類金属 (主に, Ca, Mg) に相当する。次に, ホルマリン数滴を加え Zn, Cd の KCN 錯塩を分解する。必要なアンモン緩衝液を追加する。再び赤色になった溶液を青色になるまで (1/100) N, EDTA で滴定する。この時の EDTA 消費量が Zn, Cd の量に相当するが, この検水には Cd が存在しないことは焰光スペクトルより確認されているので Zn のみの量に相当する。

3. 水の加熱並びに亜鉛添加実験

採取した水をピーカにとり, パーナで加熱すると団地水道水のみが白濁を生じた。そこで, 1号井戸水, 2号井戸水, 大学水道水に 1 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 20 ppm になるように亜鉛化合物 (硫酸亜鉛, 硝酸亜鉛, 塩化亜

鉛) を添加して加熱すると白濁を生じ, この白濁は亜鉛濃度に比例して濃くなった。しかし, 蒸留水ではこのような白濁は生じないので次の実験で沈澱物の分析を行なった。

4. 実験的亜鉛化合物沈澱の分析

1) 焰光スペクトル分析

沈澱物をとる目的で亜鉛を含まない大学の水道水に亜鉛濃度 100 ppm になるように硝酸亜鉛を添加し, 4 日間塵芥の入らぬように紙で覆をして室内に放置した。この場合白色沈澱を生ずるのでこれを東洋汙紙で汙過して沈澱物を取り, 実験方法 2. 1) と同様な方法で分析した。

2) キレート滴定

硝酸亜鉛を亜鉛濃度が 5~50 ppm になるように添加した後, これを煮沸して沈澱をつくり, 汙紙で汙過して沈澱物を取り除き, その汙液を 2. 2) と同様な実験方法で亜鉛の沈澱する割合を検査した。

5. 動物実験

1) マウス実験

生後約 3 カ月体重約 20 g の CF 系統系雌マウス 16 匹を 4 匹ずつ 4 群に分けてオリエンタル固型飼料で 16 週間飼育した。その間図 1 のように 0~160 ppm の濃度の亜鉛水を自由に飲み (表 6 参照), 毎週各群の平均体重の変化を追求した。

2) 金魚実験

平均身長約 5 cm の金魚 56 匹を 5 表のように 8 群に分け 0~40 ppm の亜鉛濃度の水に 3 日間同一条件下で飼って, その生存をみた。水は水道水を塩素分をとる目的で一日放置して用い, 容器にはポリエチレン製の容量 2 l の洗面器を用いた。

図 1 マウスの飲水に塩化亜鉛を添加した場合の平均体重の変化 (各群とも 4 匹)

表 1 水の蒸発残渣の焰光スペクトル分析

	水 500 cc 中の残渣	Na	K	Ca	Mg	Si	Zn	Al	B	Pb	Cu	Mn	Fe	Ni	硬度
1 号井戸水	0.066 g	卅	+	卅	卅	卅	±	±	+	±	±	—	±	—	40
2 号井戸水	0.097 g	卅	±	卅	卅	卅	±	—	+	—	±	+	±	—	90
団地水	0.087 g	卅	±	卅	卅	卅	卅	—	±	±	±	—	—	±	74
農家井戸水 (1号井戸横)	0.064 g	卅	+	卅	卅	卅	—	+	+	—	±	±	±	±	32
大学水道水	0.126 g	卅	+	卅	卅	±	—	—	±	—	±	—	—	—	96
イオン交換水 (団地水道)	0.086 g	丰	±	±	±	卅	—	+	±	—	±	—	±	—	0

III. 実験成績

1. 焰光スペクトル分析法並びにキレート滴定法による水の分析

表 1 に見られるように被検水のうち団地水道水にのみ亜鉛がかなり含まれていることが判明した。EDTA 滴定による亜鉛の定量値は採取月日によって異なり、それぞれ表 2 のように 6.5 ppm と 9.1 ppm であった。それ以外では 1 号井戸水にし 1 回 1 ppm の亜鉛があった。団地用水以外の水には亜鉛は含まれていなかった。亜鉛以外の元素を比較して見ても硅素のみが大学の水に少ないので次の亜鉛添加実験を行ない、白濁の原因は明らかに亜鉛であることが判明した。

2. 亜鉛添加によって生ずる沈澱物の成分

上記の如く大学水道水、1 号井戸水、2 号井戸水中には亜鉛が含まれないことが判明したので、1 号、2 号井戸水並びに大学水道水に亜鉛を 1 ppm～20 ppm まで添加し煮沸、又は室内に数日間放置すると白濁が生ずることを確かめた。この際、白濁の度合は蒸溜水以外は亜鉛添加量が増すにつれて濁度を増した。濁度具合から水中の亜鉛量を逆に判定することが出来るように思われる。次いで沈澱物を多量に得る目的で 100 ppm になるように硝酸亜鉛を添加した。5 日間放置して沈澱をつくり沈澱物を焰光スペクトル分析した。表 3 のように沈澱物中に亜鉛以外に Si, Fe, Ca, Mn 等の他元素が存在している。このように他元素も沈澱することが亜鉛 1 ppm ほどの微量でも肉眼的に明らかな白濁を生ずる原因であろう。

3. 煮沸による相対的亜鉛沈澱量

1) キレート滴定

硝酸亜鉛を亜鉛濃度が 5～50 ppm になるように添加した後、これを煮沸して沈澱を作り、濾紙で濾過して沈澱物を取り除き、濾液 50 cc を取り 2.2) と同様に

表 2 EDTA 滴定による Zn 定量

水の種類	1 回目	2 回目
団地水道水	6.5ppm	9.1ppm
1 号井戸水	1	0
2 号井戸水	0	0
農家井戸水	0	0
大学井戸水	0	0
イオン交換水	0	0

表 3 水道水に $ZnNO_3$ を添加した時生ずる沈澱物の成分 (焰光スペクトル法による)

Zn	Si	Fe	Ca	Mn	Sn	Cu	Pb	P
卅	卅	卅	卅	卅	卅	+	+	+
Mg	B	Al	Ni	Cd				
±	±	±	—	—				

(但し焰光スペクトルで測定可能な濃度限界)

Cu, Na	0.5 ppm	Co, Cd, B	10 ppm
Al, Ca, Mg, K	2 ppm	Si	20 ppm
Zn	3 ppm	Hg	100 ppm
Pb, Fe	5 ppm		

表 4 亜鉛添加水道水の加熱によって生ずる沈澱物中の亜鉛の割合

Zn 添加	濾液 (50 cc) の EDTA N/100 消費量			濾液の Zn 濃度 ppm	沈澱した Zn %
	全消費量	KCN mask	Forma- lin 分解		
5 ppm	4.7	4.7	0.1	1.3	74
10 "	4.8	4.7	0.2	2.6	74
20 "	5.2	4.6	0.5	6.5	67
50 "	6.2	4.6	1.2	15.7	69

EDTA で滴定し、亜鉛の沈澱する割合を調査した。その結果を表 4 に示す。表 4 の様に亜鉛濃度 50 ppm まではその約 70% が沈澱するものと考えられる。

表 5 金魚を使用しての亜鉛の毒性実験

		対 照	ZnSO ₄ 10 ppm	ZnSO ₄ 20 ppm	ZnSO ₄ 30 ppm	ZnSO ₄ 40 ppm	ZnCl ₂ 40 ppm	ZnNO ₃ 40 ppm
金 魚 数		8 匹	8	8	8	8	8	8
死んだ 金魚数	1 日目	0	0	1	0	4	2	5
	2 日目	0	0	1	6	3	5	1
	3 日目	0	0	0	0	1	1	2
生 存 数		8	8	6	2	0	0	0

表 6 マウス実験に使用した亜鉛水の濃度, 摂取量

期間	実験群	I 群	II 群	III 群	IV 群
0 週 8 週	水の Zn 濃度 (ppm)	0	10	20	40
	水の摂取量 (ml)	875	956	989	871
	Zn の摂取量 (mg)	0	10	20	35
9 週 16 週	水の Zn 濃度 (ppm)	0	40	80	160
	水の摂取量 (ml)	670	773	756	628
	Zn の摂取量 (mg)	0	31	60	100
	総 Zn 摂取量 (mg)	0	41	80	135

4. マウスの体重変化

図 1 表 6 の様に I 群には 0 ppm, II 群に 10 ppm, III 群に 20 ppm, IV 群に 40 ppm の亜鉛濃度の水を自由に飲まして 8 週間飼育したけれども, 体重の差はあまり認められなかった。そこで 8 週目より 16 週目まで II 群に 40 ppm, III 群に 80 ppm, IV 群に 160 ppm の水を与えた。平均体重の変化具合は各群の間に大きな差はみられなかった。尚水の摂取量は各群の間に大きな差はなかった。(表 6 参照)

5. 金魚を使用しての亜鉛の毒性実験

表 5 のように亜鉛濃度 40 ppm の水に金魚を飼育した場合, 添加亜鉛化合物が硫酸亜鉛, 硝酸亜鉛, 塩化亜鉛のいずれでも 3 日以内に死んだ。亜鉛イオン 10 ppm の時には 3 日以内に死んだ金魚はなく, 2, 3 日目頃より白濁並びに水面上にグリーンス状被膜を生ずるが, その中で 2 週間以上観察するも死ななかった。又白濁を生ずることによって亜鉛の約 70% はイオンの形で存在しなくなることが表 4 より知られる。従って亜鉛イオンの影響は 2, 3 日目より少なくなることが考えられる。亜鉛化合物添加による硝酸イオン, 硫酸イオン, 塩素イオン等の陰イオンの影響が考えられるが実験してない。

IV. 考 察

わが国に於ける飲料水中の亜鉛総量は 1 ppm であ

るが, アメリカでは 15 ppm で, 1961 年アメリカ公衆衛生協会は亜鉛総限量として 5 ppm を勧告している³⁾。以前の 15 ppm を決めた根拠は生理学的よりむしろ感覚的考慮より決められたといわれる^{4,5)}。尚, 5 ppm に引き下げた理由は明らかでない。今では英米では亜鉛総限量は 5 ppm である。亜鉛 5 ppm 含むと煮沸したとき水面上にグリーンス状皮膜を生じ 30 ppm では乳濁状となり, 25~45 ppm で金属味を生じるが, 40 ppm 含む水を用いて異状はなかった等の報告がある^{4,5)}。

Allport and Moon (1939) の調査によれば, ロンドンの水道水は僅かに亜鉛がみつめられ, その量は 0.23 ppm であった^{6,7)}。

Moerner (1898) は亜鉛 7~8 ppm 含有する水はにが味があるが, 数年間使用しても人体になんらの障害もおきなかったと報告している^{6,7)}。

Wolffhügel (1887) は亜鉛鍍鉄管や亜鉛引水槽を水道に使用している 20 町村について調査した結果, 特に健康に悪影響を及ぼすような障害はみられなかったと述べている^{5,6)}。Bartow and Weigle (1932) は, 亜鉛 50 ppm を含有しているアメリカでの水道を調査した。その結果不快な金属性味はあるが, 水道使用者には別段病気がおこらず, 1000 ppm の硫酸亜鉛を鼠の飲水として 40 時間与えたが, 体重が減った他には, 特に障害がなかったといっている^{6,7)}。オーストラリアでは, 亜鉛 57 ppm 含むソーダ水を飲んだ場合, 一部の人が吐き気をもよおしたが普通にはそのような現象はおこり難いことが調査されている^{6,7)}。Sale and Badger (1924) は水道水を亜鉛引容器に 17 時間入れた場合亜鉛濃度は 5 ppm であった^{6,7)}。したがって本例の場合, 団地住宅が少なく水の使用量が設備に較べて少ないことが水中亜鉛量の高い一原因と思われる。甲斐は硫酸亜鉛飲用のラッテの体重増加実験から, わが国の亜鉛総限量 1 ppm は過少に過ぎるといっている⁸⁾。亜鉛を含みぬ水道水に, 1 ppm の亜鉛濃度になるたうに亜鉛化合物を添加したのを煮沸すると薄い白濁を生ずる。このことがわが国の亜鉛総限量

1 ppm の理由と思われる。このような白濁現象は蒸留水に亜鉛を添加した場合にはおこらず、亜鉛以外の他の要因があると考えられる。表 2 で沈澱中に亜鉛以外の元素の共沈を認めたが、このことは亜鉛が白濁に主役的役割を演ずるが、他元素も白濁に関係していることを示す。

金属のイオン化系列をみると亜鉛はかなり上位にあるが、イオン化傾向が大きくもなく小さくもない部類に入る。更に亜鉛は両性元素の性質をもち、酸性、中性、アルカリ性いずれの場合でもイオン化する⁹⁾。本例の場合、水の pH は 7.5 であった。亜鉛の塩類では炭酸亜鉛、水酸化亜鉛が水に溶けがたいので¹⁰⁾、これらの化合物が生じて白濁するのではないかとと思われるが、未だ明らかにされていない。

鉄管を亜鉛鍍金する理由は、亜鉛が水中で酸化されて塩基性炭酸亜鉛 $\text{ZnCO}_3(\text{OH})_2$ の丈夫な膜を作り亜鉛の腐蝕を防ぎ鉄の錆止めになるからである¹¹⁾。一般に亜鉛引き鉄管の配管直後は水の亜鉛濃度は高いが、まもなく減少するといわれている。本例ではわれわれが調査した時、給水開始後数カ月経過しているにも拘わらず表 3 のような恕限量以上の 7~9 ppm の亜鉛を検出した。配管距離が長いと考えられず亜鉛メッキが悪いのかそれとも他の理由か不明である。塩素イオン濃度は約 30 ppm で、これによる亜鉛溶出とも考えられない。

亜鉛の生化学、生理学、病理学的作用については、Vallee のすぐれた綜説がある¹²⁾。経口投与した場合の亜鉛中毒の一般症状は嘔吐、腹痛、下痢等である^{12,13)}。給水初期にこれらの症状を訴えた者が多かったと云う住民の声は亜鉛中毒を思わせるが真偽の程は明らかでない。我々の実験ではマウスの体重増加は図 1 のように亜鉛を 40 ppm 更に 160 ppm の飲料水として投与するも対照と変わらない。一般に成人では食物から 1 日に 3~20 mg 程度の亜鉛を摂取している¹⁴⁾。他の重金属よりも吸収は容易らしいが無機塩は食品中の亜鉛よりも利用されにくい¹⁴⁾。排泄は主として尿中に出る。亜鉛に富んだ食品を摂取すると尿中亜鉛量は大いに増すが、尿中量は殆んど変わらない¹⁵⁾。自由食で 1 日に 9.8~14.4 mg の亜鉛をとっていた 13 人の若い婦人達は 0.6~1.8 mg を尿中に、3.2~7.9 mg を尿中に出した¹⁴⁾。この様に亜鉛は経口投与した場合大部分は尿中に出ることが考えられる。しかし Phebe 等は酸化亜鉛、クエン酸亜鉛、リンゴ酸亜鉛をラッテに亜鉛量として 2~38 mg/day 投与した場合いずれも体重増加を示し¹⁶⁾ 甲斐は亜鉛量として、1 日に 0.1 mg~1.0 mg をラッテに投与した時、体重は増加

したと報じている⁸⁾。

Brown によると人に嘔吐を催す硫酸亜鉛量は 225~450 mg である¹⁷⁾。これは急性中毒の場合であり、飲料水等として毎日使用する場合と異なる。住民から問題の水で金魚を飼うと金魚が死ぬと云う話を聞いたので金魚飼育実験を行なったが、表 5 のように 40 ppm では 3 日以内に死んだ。金魚は水中にいる関係上、亜鉛がマウスより大量に摂取されるためと思われる。金魚と人間を同一視することは出来ないが、住民に不安を与えた要因でもある。又、亜鉛 5 ppm 以上ではやかに著しい白い湯垢を生じ風呂も白濁するので住民に不安感を与えたことは否定出来ない。

本例をふり返ってみると水源の井戸水には亜鉛がなく、汙過過程では亜鉛混入が考えられないので、恕限量以上の亜鉛の原因は亜鉛引鉄管にあると考えられる。今後更に追求すべき課題と思われる。

V. 要 約

白濁する福岡市内某団地専用水道水を焰光スペクトル分析法により、その原因を追求すると共に亜鉛含有水道水の毒性をみるためにマウス、金魚を用いて動物実験を行ない、次の結果を得た。

1) 水道水が煮沸又は室内に数日放置することに依り白濁したのは、水中の亜鉛が主因であり、この亜鉛引鉄管に由来したと考えられる。

2) 白濁沈澱物には亜鉛の外に Si, Ca, Mn 等の元素が含まれる。これが亜鉛含有量 1 ppm 以上では肉眼的にはっきり白濁がみられる理由であろう。

3) マウスによる動物実験では 160 ppm の亜鉛水を飲用さずとも体重増加率は対照と変わらない。

稿を終るに臨み、倉垣教授の御校閲に感謝すると共に、特に測定のお援助をして下さった九大工学部冶金学教室国武信助手に厚く御礼申し上げます。

文 献

- 1) 猿田南海雄：公衆衛生学実習。46, 金原出版, 1960
- 2) 上野景平：キレート滴定法。157, 南江堂, 1956
- 3) Wright, C. V.: New Standards of Chemical Quality for Drinking Water. Public Health Reports, 77(7); 628~632, 1962
- 4) Welsh, G. B. & Thomas, J. F.: Significance of Chemical Limits in USPHS Drinking Water Standards. AWWA, 52; 3, 289~300, 1960
- 5) 小島貞男：アメリカ公衆衛生協会の飲料水水質基準

- における化学成分許容限度の意義. 水道協会雑誌, No. 313, 134~136, 昭 35 年
- 6) 内藤幸穂: 飲食品中の無機物質の忍限度(亜鉛). 水道協会雑誌, No. 240, 46~47, 昭 29 年
- 7) Monier-Williams, G. W.: Trace Element in Food. Chapman & Hall Ltd. London 1950
- 8) 甲斐文朗: 硫酸亜鉛飲用によるラットの体重増加と臓器内亜鉛蓄積. 日本公衆衛生雑誌, 12(2); 77~80, 1965
- 9) 化薬と薬学の教室: 第6号, 73~76, 広川書店, 1965
- 10) 永海佐一郎: 分析化学の研究, 内田老鶴圃, 1947
- 11) ボーリング: 一般化学下, 499, 岩波書店, 1959
- 12) Vallee, B. L.: Biochemistry, Physiology and Pathology of Zinc. Physiol. Rev., 39; 443~490, 1959
- 13) Louis S. Goodman: The Pharmacological Basis of Therapeutics. The Macmillan Company New York, 992~993, 1956
- 14) 栄養学ハンドブック, 492~493, 技報堂, 1958
- 15) McCance, R. A. and Widdowson, E. M.: The Absorption and Excretion of Zinc. Biochem. J., 36, 692~696, 1942
- 16) Phebe, D., Marison, M. & Drinker, K. R.: The effect of zinc administration upon reproduction and growth in the albino rat, together with a demonstration of the constant concentration of zinc in a given species, regardless of age. Am. J. Physiol., 80, 65, 1927
- 17) Brown, M. A., et al.: Food poisoning involving zinc contamination. Archives of environmental health, 8, 657, 1964
- 18) Proceedings: Conference on Physiological Aspects of Water Quality. September 8~9, 1960 Washington, D. G.

(受付 1965 年 3 月 30 日)

海外文献抄録

C. H. Wyndham et al.: Physiological reactions of Caucasian and Bantu males in acute exposure to cold, Journal of Applied Physiology, 19 (4), 583~592, 1964

南ア Johannesburg の鉱山へ新たに募集された 18~25 才男子の Caucasian 11 人と Bantu 11 人について寒冷への急性曝露時の生理学的反応をしらべている。実験には 0.5℃ 以内で調節可能な人工気候室を用い、前者では 27, 20, 10, 5℃ に後者では 27, 25, 20, 15, 10, 5℃ に、それぞれ 2 時間曝露している。

その結果、新陳代謝は 14~9℃ では Bantu の方が小さく、6℃ 以下及び 18℃ 以上では Bantu の方が大きいこと、15 カ所の平均皮膚温は 10℃ 以下で Bantu の方が高いこと、指温及び趾温は 17℃ 以下では両者に差はないが、27~17℃ では Bantu の方が低いこと、直腸温は曝露温度が下るにつれて、Caucasian では僅かずつ上昇するに反し Bantu では下降を示し、19.5℃ 以下では明らかに Bantu の方が低く、5℃ では両者に 0.9℃ の差があることを認め、Caucasian と Bantu では寒冷に対する反応には明らかな差があることを結論している。

(横浜市大・山賀)