



Title	活性炭管法およびモニタリングバッヂ法による二硫化炭素の個人曝露評価についての基礎的研究
Author(s)	青野, 裕士
Citation	大阪大学, 1982, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/33289
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

主論文

No.

活性炭管法およびモニタリングバッヂ法に
よる二硫化炭素の個人曝露評価についての基
礎的研究

A fundamental study on assessment of worker's
exposure average to carbon disulfide by charcoal
tube and monitoring badge method,

青 野 裕 士

Hiroshi Aono

大阪府立公衆衛生研究所 労働衛生部

Osaka Prefectural Institute of Public Health

Division of Industrial Health

大阪市東成区中道 1 丁目 3 番 69 号

1-3-69 Nakamichi, Higashinari, Osaka

原著 表 4 枚 図 7 枚

連絡先 青野裕士

大阪市東成区中道 1 丁目 3 番 69 号 (〒537)

活性炭管法およびエニタリングバッチ法による二硫化炭素の個人曝露評価についての基礎的研究

青野裕士

I 目的

本研究は、二硫化炭素(CS_2)現場作業者の個人 CS_2 曝露量測定法を確立することを目的としている。

筆者は、個人 CS_2 曝露量測定法として、活性炭管法およびエニタリングバッチ法を選んだ。まず、これらの法の測定条件 すなわち CS_2 濃度、温度、相対湿度、風速、および、 H_2S 濃度を実験的に検討した。

両法共に目的の實用に供し得ることが、証明できたので、ここに報告する。なお H_2S を本法測定条件に数えたのは、 CS_2 の主たる現場が、ビスコース・レーヨン工場で、その環境中に CS_2 と H_2S が通常混在しているからである。

従来、 CS_2 濃度は、主としてジエチルアミ

ン・銅比色法によつて測定されてゐる。本法は、現場気中 CS_2 の定点、瞬間濃度なほ、短時間（1～数分）平均濃度を、測定することを目的とした方法で、個人曝露量を測定する方法ではない。

II 方法

1. CS_2 曝露装置（図1）

図1

CS_2 蒸気発生部分¹⁾は、任意一定濃度の CS_2 を作る flow-system で、A, B の2系からなつてゐる。A系は、空気の流量と相対湿度を調節する部分で、B系は、 CS_2 濃度を調節する部分である。

A系では、Blower, Reservoir をへて流れる空気を、 A_1 で脱水する。乾式ガス流量計 A_2 で空気流速を、 40l/min に調節する。続いて、空気の一部が、 A_3 を流れる。 A_3 の流速を調節することによつて、経験的に曝露気流の相対湿度を調節した。

B系における空気の流速は、 B_1 で5～20

ml/minの間の任意の流速に調節し、予め、補正してある流量計 B_2 で流速を確認した。続いて B_4 , B_5 で所定の濃度の CS_2 を含む空気となつて曝露容器に送られる。 B_3 ($36^\circ C$) で発生した CS_2 は、 B_4 ($0^\circ C$) で、その過飽和部分が凝縮、 $0^\circ C$ における含飽和 CS_2 空気となつて M において A 系と合流する。低濃度実験の際は、 B_4 , B_5 の温度を、 $-21.2^\circ C$ とした。用いた寒剤は、塩化ナトリウム 22.4 wt% : 氷 77.6 wt% である。流速 A , B および B_4 , B_5 の温度を調節することによって、 M 以降に任意流量・ CS_2 濃度の気流を得ることができた。

本実験における CS_2 濃度は、 1.88 ± 0.52 ppm
 $\sim 51.5 \pm 1.88$ ppm 相対湿度 28% $\sim$ 82% 風速は、 0.33 ± 0.04 m/sec $\sim 1.52 \pm 0.16$ m/sec であつた。(成績参照)

H_2S は、テドラーバッグ® に封入した 40 l のガス (200 ± 50 ppm) を、小型吸引ポンプを用い、流速 50 $\sim$ 200 ml/min の間の任意の速度に調節し、図1の H_2S 流入口から CS_2 曝露部

分(E)に流入させた。流速調節には、マイクローターキャピラリーバルブ[®]を利用した。E内の H_2S 濃度は、 $5.9 \pm 1.24 \text{ ppm} \sim 21.9 \pm 1.76 \text{ ppm}$ であった。(成績参照)

曝露部分(E)は、Flow-systemで、内圧は、大気圧であった。

E内温度は、混合ガス入口部から35cm離れた2ヶ所で、アウグスト寒暖計にて測定した。計測値は、 $10.0 \pm 0.86^\circ\text{C} \sim 27.1 \pm 1.20^\circ\text{C}$ であった。(成績参照)

風速は、E内のマグネティックファン(直径15cm)の回転速度を変えることによって調節し、カタ寒暖計を用いて測定した。カタ寒暖計の位置は、混合ガス入口部から26cm離れた所である。被検体との位置は、図1の如くである。

2. CS_2 および H_2S 濃度の測定

E内の CS_2 および H_2S 濃度は、曝露開始から終了時点まで、30分ごとに測定した。被検空気は、E内の6ヶ所の取り口より約50mlす

注射筒で採取し、その 1ml をガスタイトシリンジ（ハミルトン製）でとってガスクロマトグラフ分析に供した。

C_{H_2S} 濃度の検量線は、 C_{H_2S} をベンゼンに溶解させて得た濃度列²⁾によつて求めた。

H_2S 濃度の検量線は、パーミエーションチューブ法で求めた。まずパーミエーションチューブ（P-tube）の浸透速度を、P-tube の減量が、20mg になる間隔でくりかえし測定した。すなわち、P-tube 減量、P-tube 有効長、および減量に要した時間から浸透速度を求めた。図 2 に示すごとく、任意の流速で空気を流すことによつて、P-tube から H_2S ガスの浸出をうながした。浸透速度： P_r 、P-tube 有効長： L 希釈空気量： F から発生するガス濃度： C は、次式

$$C = \frac{P_r \cdot L}{F} \times \frac{22.4}{W} \times \frac{273+25}{273}$$

C : ppm, P_r : ng/min/cm, L : cm, H_2S 分子量 W : 34.08 によつて求めた。^{3) 4)}

本実験では, Pr 185 ng/min ($25^{\circ}C$), L 10cm
であった。空気流速をデュボン製 P-4000 で, 88
ml/min, 133 ml/min, 266 ml/min に調節するこ
とによって, 20 ppm, 10 ppm, 5 ppm の H_2S 濃
度が得られた。H (容量約 500 ml) 内の H_2S
濃度が一定になることを確かめてから (装置
セット後 / 時間以上を要す) 含 H_2S 空気約 20
ml を注射筒でとり, その 1 ml をガスクロマト
グラフ分析に供し, 検量線を求めた。検量線
は, 曝露実験ごとに求めた。(図 2)

3. 活性炭管法およびモニタリングバッヂ 法

CS_2 曝露総量定量法のその 1 は, 活性炭の
 CS_2 吸着の原理を応用したいわゆる活性炭管
法 (CT 法) である。活性炭管および活性炭
20~40 mesh は, デュボン製を用いた。

小型吸引ポンプは, デュボン製 P 4000, P 200
を用いた。

その 2 は, 分子拡散吸着の原理^{5) 6)}を応用
したモニタリングバッヂ法 (MB 法) である

。本実験では, MB 法として Gas badge[®] を検討対象とした。

Gas badge における CS_2 拡散係数は⁶⁾ Sherwood⁷⁾ の CS_2 拡散係数実験値 ($\text{CS}_2\text{-D}_{AB}$) に一致した。すなわち Sherwood の拡散係数実験値 (D_{AB})

$$\text{D}_{AB} = \frac{0.001858 T^{3/2} \left(\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B} \right)^{1/2}}{P \sigma_{AB}^2 \Omega_D}$$

P : 気圧 atm M_A : CS_2 分子量 M_B : Air 分子量

Ω_D : collision integral $f(KT/\epsilon_{AB})$

$\epsilon_{AB}, \sigma_{AB}$: Lennard-Jones force 定数

K : Boltzmann's constant

であり, M_A : 76.13 M_B : 28.98 σ_{AB} : 4.097

ϵ_{AB}/K : 191.59 T : 298 P : 10.5 $\text{CS}_2\text{-D}_{AB}$

は, 0.1045 である。

CS_2 の理論吸着量および活性炭 (CT 法) の CS_2 脱着量は, NIOSH S 248⁸⁾ の方法に従って求めた。また捕集エレメント (MB 法) の CS_2 脱着量は, Gas badge 分析法⁹⁾ に従って求めた。すなわち活性炭 100mg, 50mg

、捕集エレメントをそれぞれ、4ml のバイヤルにとり、2ml のベンゼンを加え室温で、活性炭は、30分 捕集エレメントは、1時間振盪後その 1 μ l をガスクロマトグラフ分析に供した。分析条件は、検出器 FPD、ガスカラム' (7m 内径 4mm) ^{1.25wt%} 充填剤 クロモソルブ WAW-DMCS TCEP、コーティング、カラム恒温槽温度 55℃、検出部温度 約 150℃ 資料導入部温度 約 130℃、キャリアーガス N_2 : 30~40 ml/min および H_2 : 28~32 ml/min

Ⅲ 成績

CT 法、MB 法それぞれについて、 CS_2 吸着に及ぼす環境条件、すなわち温度、相対湿度、風速および H_2S 濃度の影響について検討した。

1. 温度の CS_2 吸着におよぼす影響

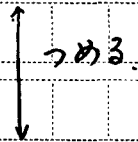
区内の相対湿度 60~64%、風速 0.51 ± 0.03 m/sec ^{表1}
 H_2S 濃度 0 で、温度が、CT 法においてそれ

それ $10.0 \pm 0.86^\circ\text{C}$, $21.3 \pm 1.60^\circ\text{C}$, $27.1 \pm 1.30^\circ\text{C}$ で,
 CS_2 濃度が, それぞれ $9.0 \pm 0.47 \text{ ppm}$, $16.4 \pm 1.00 \text{ ppm}$, $22.2 \pm 0.78 \text{ ppm}$ では, 脱着量の理論吸着量
 に対する比率, すなわち Recovery Rate (rr) は,
 93.1~99.8% であり, 又 MB 法において, 温
 度が, それぞれ $10.4 \pm 1.60^\circ\text{C}$, $22.3 \pm 1.30^\circ\text{C}$, $27.1 \pm 1.20^\circ\text{C}$ で,
 CS_2 濃度がそれぞれ $7.9 \pm 1.60 \text{ ppm}$, $16.3 \pm 1.68 \text{ ppm}$, $22.3 \pm 1.61 \text{ ppm}$ では, rr は, 90.7~107.1
 % で, CS_2 吸着におよぼす温度の影響は, $10^\circ\text{C} \sim 27^\circ\text{C}$ の範囲ではみられなかつた。(表 1
 参照)

2. 相対湿度の CS_2 吸着におよぼす影響

E 内の温度 $20.1 \pm 1.80^\circ\text{C}$, 風速 $0.51 \pm 0.03 \text{ m/sec}$ 表 2.
 H_2S 濃度 0 で, CT 法において, 相対湿度が
 それぞれ 30~40%, 50~64%, 76~77% で,
 CS_2 濃度が, それぞれ $8.2 \pm 1.37 \text{ ppm}$, $15.7 \pm 0.12 \text{ ppm}$, $22.9 \pm 1.27 \text{ ppm}$ では, rr は 90.9~105.9% で,
 CS_2 吸着におよぼす相対湿度の影響は, みられ
 ない。又 MB 法において, 相対湿度が 30~
 41%, 50~70% で, CS_2 濃度がそれぞれ $7.6 \pm$

1.32 ppm, 16.5 ± 1.52 ppm, 23.4 ± 1.72 ppm では, YR は $92.2 \sim 105.5\%$ で, C_{S_2} 吸着におよぼす相対湿度の影響は, みられなかつた。しかし相対湿度が, $76 \sim 80\%$ では YR は $56.3 \sim 67.8\%$ となり, C_{S_2} 吸着におよぼす相対湿度の影響のみみられた。(表2参照)



3. 風速の C_{S_2} 吸着におよぼす影響

E内の温度 $20.1 \pm 1.80^\circ\text{C}$, 相対湿度 $60 \sim 64\%$ 表3
 H_2S 濃度0で, 風速:それぞれ 0.33 ± 0.04 m/sec, 0.50 ± 0.05 m/sec, 1.52 ± 0.16 m/sec で, C_{S_2} 濃度が, 8.2 ± 1.44 ppm, 15.5 ± 3.32 ppm, 23.6 ± 0.85 ppm では, YR は: CT法で $90.3 \sim 109.1\%$, MB法で $90.6 \sim 105.7\%$ であり, $0.33 \sim 1.52$ m/secの範囲では, 風速の C_{S_2} 吸着におよぼす影響は, 両法ともに見られなかつた。(表3参照)

4. H_2S の C_{S_2} 吸着におよぼす影響

E内の温度 $18.8 \pm 2.06^\circ\text{C}$, 相対湿度 $60 \sim 64\%$ 表4
 風速 0.52 ± 0.03 m/sec で, C_{S_2} 濃度が, それぞれ

5.2 ± 0.89 ppm, 15.3 ± 0.90 ppm, 22.8 ± 4.04 ppm では,
 CT 法においては, H_2S 濃度がそれぞれ 6.8 ± 1.26 ppm, 10.0 ± 1.42 ppm で, YR は $91.8 \sim 108.1\%$ と
 なり H_2S の CS_2 吸着におよぼす影響はみられ
 なかった。しかし H_2S 濃度が, それぞれ 16.0 ± 1.56 ppm, 21.9 ± 1.76 ppm では, YR は $51.6 \sim 66.7\%$ と
 なって, H_2S の CS_2 吸着におよぼす影響
 がみられた。又, MB 法においては, CS_2 濃
 度が, それぞれ 5.9 ± 0.40 ppm, 14.5 ± 0.55 ppm, 24.0 ± 0.29 ppm で, H_2S 濃度が, それぞれ 5.9 ± 1.24 ppm, 9.5 ± 1.25 ppm では, YR は, $90.9 \sim 110.0\%$ で, CS_2
 の吸着におよぼす影響は, みられなかったが,
 19.9 ± 1.26 ppm では, YR は, $52.4 \sim 72.9\%$ で,
 H_2S の CS_2 吸着に対する影響がみられた。

(表 4 参照)

5. CT 法および MB 法から求まる CS_2 実測濃度と CS_2 曝露濃度との関係

両法ともに, 温度, 相対湿度, 風速, H_2S の影響をうけないう範囲で実験を行ない, CS_2 実測濃度と CS_2 曝露濃度の関係を示した。

図 3.4

(図3, 4参照) なおここにとりあぐに測定値の一部に, 上述1~4節の成績の中で, それぞれの環境条件に影響されなかつたものも加えた。

E内温度 $10 \sim 28.5^{\circ}\text{C}$, 相対湿度 $28 \sim 77\%$, 風速 $0.31 \sim 0.80 \text{ m/sec}$ で, CT 法から求まる CS_2 実測濃度は, $1.9 \sim 44.1 \text{ ppm}$ の CS_2 曝露濃度に, 95% の信頼限界で対応した。(図3)

E内温度 $8.5 \sim 28.5^{\circ}\text{C}$, 相対湿度 $33 \sim 70\%$, 風速 $0.31 \sim 1.62 \text{ m/sec}$ で, MB 法から求まる CS_2 実測濃度は, $1.9 \sim 51.5 \text{ ppm}$ の CS_2 曝露濃度に 95% の信頼限界で, 対応した。(図4)

6. CT 法および MB 法から求まる CS_2 実測量と CS_2 理論吸着量との関係

両法ともに, 温度, 相対湿度, 風速, 硫化水素の影響をうけな、範囲で, 実験を行ない CS_2 実測量と CS_2 理論吸着量との関係を示した。(図5, 6参照)

E内温度 $8.5 \sim 27.5^{\circ}\text{C}$, 相対湿度 $28 \sim 78\%$, 風速 $0.30 \sim 1.62 \text{ m/sec}$ で, CT 法から求まる CS_2

図5.6

実測量は, $0.07 \sim 3.29 \text{ mg}$ の範囲の CS_2 理論吸着量に 95% の信頼限界で対応した。(図5) 又, 温度 $8.5 \sim 28.5^\circ\text{C}$, 相対湿度 $34 \sim 70\%$, 風速 $0.37 \sim 1.79 \text{ m/sec}$ で, MB 法より求まる CS_2 実測量は, $0.06 \sim 1.76 \text{ mg}$ の範囲の CS_2 理論吸着量に 95% の信頼限界で対応した。(図6)

7. CT 法による CS_2 実測濃度と MB 法による CS_2 実測濃度の関係 図7

本実験における温度 $9.2 \sim 27.0^\circ\text{C}$, 相対湿度 $30 \sim 70\%$, 風速 $0.30 \sim 1.60 \text{ m/sec}$ であつた。

MB 法の CS_2 実測濃度は, CS_2 濃度 $1.9 \sim 22.7 \text{ ppm}$ の範囲で, CT 法の CS_2 実測濃度に 99% の信頼限界で対応した。(図7)

考察

Rosenstell⁽¹⁰⁾ は, U.S.A のビスコース・レイヨン工場作業者の呼吸域 CS_2 濃度を, シェナールアミン・銅法^電で測定し報告している。紡糸室作業者14名を対象にして, 交代勤務全時間を通じて, 最低20分間, 最高176分間の呼吸

域空気捕集を行ない、 CS_2 濃度を定量した。作業者の作業分析および CS_2 濃度から紡糸室作業者の時間加重平均濃度(TWA)は、4.3 ~ 11.1 ppmであつた。又混在する H_2S 濃度は、1 ppmであつた。

またHernbergら^{11) 12)}は、フィンランド、エスコ・ス・レ・ヨン工場で、1945年から1967年までの CS_2 および H_2S の平均曝露量を測定している。同工場の10~40ヶ所で、1年間に1~36回、5~10分間の空気捕集を行ない、結果、1950年代の CS_2 と H_2S の平均曝露量は、TWAで40 ppmであつたが、1950~1960年では、TWA 20~40 ppmとなり、1960年以降は、TWA 10~30 ppmであつた。しかも H_2S 濃度は、 CS_2 濃度の10分の1であつた。

日本においては、桜井ら¹³⁾が、1972年某レ・ヨンフィンメント工場環境調査を報告している。紡糸室の3名の作業者を対象として交代勤務全時間、実労働時間18時間に329回の CS_2 濃度をジエチルアミン銅法で測定し、平均濃

度, 16.7 ppm という結果を報告している。

しかしこれらの報告は, すべてグループサンプリングであって, 全作業時間を通じてサンプリングを行なって求めた個人曝露量ではない。多くは, 作業者の作業操作ごとの作業環境気中 CS_2 濃度と作業分析から個人曝露量を推定している。

またジエチルアミン銅法は, ポテンシオメトリー, 原子吸光分析法を加えることで, CS_2 $7 \mu\text{g}$ まで, 誤差 5% 以内, 再現性 3% で, 測定できるとされるが⁶⁾, 1 回ごとの測定操作が, 比較的煩雑で, 測定者は, 測定方法を十分に熟練する必要があり, 実際には個人曝露量を求めるのは, おずかしい。それらにくらべて, CS_2 を活性炭に捕集し, ガスクロマトグラム分析に供する CT 法, MB 法では, 活性炭の破過量に達するまで, 含 CS_2 空気を連続捕集できる。MB 法ではガス捕集本体が, 24 g ⁶⁾ と軽量であり, 襟につけることができるし, CT 法では軽量の定流速ポンプを腰に

携帯し活性炭管を襟につけることによつて、
 作業者の平常作業中の個人曝露量を測定でき
 る。筆者の曝露実験では、CT法で CS_2 濃度
 51.5 ppm - 4時間測定、MB法で CS_2 濃度 44.1
 ppm - 4時間測定ができたことから、作業中に
 高濃度曝露が予想される場合も、活性炭管、
 捕集エレメントを、昼休み1回とりかえるこ
 とによつて、CT法、MB法による1日全作
 業時間の個人曝露量測定が可能である。

McCammon¹⁵⁾は、1975年活性炭に捕集した
 CS_2 をFPDのガスフロートグラフ分析に供し
 、活性炭吸着の $1 \mu\text{g}$ CS_2 を誤差6%以内で定
 量した。筆者は、活性炭吸着の $6 \mu\text{g}$ CS_2 を誤
 差5%以内で定量した。すなわち、 CS_2 濃度
 が 1.9 ppm であつてもCT法では、4時間測定
 で CS_2 濃度定量が出来る。

今日ビスコース・レーヨン工場では、気中
 CS_2 濃度は、 20 ppm 以下で、濃度変動が少な
 く、 H_2S 濃度が、 CS_2 濃度の10分の1から2
 分の1である。11) 12) 16) 17) 18)

またレーヨン・フナエント工場において筆者が予備調査で行なった5日間常日勤作業着2名の個人 CS_2 曝露量測定において、温度 $22.5 \sim 26.3^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $52 \sim 71\%$ 、風速 $0.15 \sim 0.25 \text{ m/sec}$ で、CT法による個人 CS_2 曝露量測定値は、 $11.9 \pm 1.03 (\text{SD}) \text{ ppm}$ 、MB法で $8.1 \pm 1.03 \text{ ppm}$ と両法の値は対応した。(19)

→ さらに環境条件の悪、レーヨン・スチーブル工場における筆者の調査で6日間常日勤作業着6名の個人 CS_2 曝露量測定でも、温度 $13.5 \sim 18.1^\circ\text{C}$ 、相対湿度 $58 \sim 68\%$ 、風速 $0.01 \sim 1.00 \text{ m/sec}$ 、 H_2S 濃度 $2.7 \pm 2.76 (\text{SD}) \text{ ppm}$ で、CT法による個人 CS_2 曝露量平均値は、 $6.8 \pm 2.96 (\text{SD}) \text{ ppm}$ 、MB法で $6.4 \pm 2.68 \text{ ppm}$ と両法の値は95%の信頼限界で対応した。(19)

レーヨン・スチーブル工場の調査では、異常作業などで、呼吸域空気の CS_2 濃度の短時間変動がみられたが、CT法、MB法の値をよく対応したことは、gas badge[®]では、 CS_2 吸着に要する反応時間は、0.5秒²⁰⁾であること

から、現場のC₆H₆濃度変動の範囲では、MB法の応用が可能と考える。

又、MB法では、吸着の原理より0.015m/sec以下の風速が必要であるが、作業者の作業動作で、0.30m/sec以上の風速が認められることから、MB法による現場の個人C₆H₆曝露量測定では、風速の影響はない。

現状のレヨン工場において、C₆H₆個人曝露量を求めるのに、CT法、MB法ともに簡便で実用的な方法であろう。とくにMB法は動力源、ポンプを使用しないから、作業者の負担は少ない。今後現場における早急の応用が望まれる。

まとめ

C₆H₆ 現場作業者の個人曝露量測定法として CT 法, MB 法も実験的に検討し, 以下の結果を得た。

1. 作業現場の温度, 作業者の作業動作による風速の範囲では, CT 法, MB 法は, 個人 C₆H₆ 曝露量測定に利用できる。

2. MB 法では, 相対湿度が, 70% 以下では相対湿度の C₆H₆ 吸着に対する影響がみられなかったが, 76~80% では, C₆H₆ 吸着に影響がみられた。

3. CT 法, MB 法ともに, H₂S 濃度が, 10 ppm 以下では, H₂S の C₆H₆ 吸着に対する影響はみられなかった。

4. 温度 9.2~27.0℃, 相対湿度 30~70%, 風速 0.30~1.60 m/sec で, C₆H₆ 濃度が 1.9~22.7 ppm の範囲で, CT 法, MB 法の実測値はよく対応した。(r=0.97 p<0.01)

5. C₆H₆ 現場の多くは, 温度, 相対湿度, 風速, 混在する H₂S 濃度が, C₆H₆ 吸着に影響し

は、環境条件下にあるより、CT法、MB法と
も、個人曝露測定法として応用が可能である。
MB法は、装置本体が軽量で、動力源を必
要とせず、より実用的であると考える。

本研究の実施にあたり終始御指導いただいた
大阪大学医学部環境医学教室 後藤稠教授
に深く感謝する。本稿の要旨の一部は、第50
回日本産業衛生学会で発表した。

Summary

For the purpose of assessing worker's exposure average to carbon disulfide, influence of atmospheric conditions in the viscose rayon factory upon CS₂ absorption in charcoal tube and monitoring badge were experimentally studied.

The results obtained were as follows.

While temperature and air movement in its range at the work places had no influence upon CS₂ absorption, relative humidity over 70% and H₂S over concentration of 10ppm disturbed CS₂ absorption both in the two methods.

Further it was certified that under the atmospheric conditions with temperature from 9.2 to 27.0°C, relative humidity from 30 to 70%, and air movement from 0.3 to 1.6m/sec, CS₂ concentration in the air well correlated with those obtained from disorbed ammount of CS₂ by both the two methods. ($r = 0.97$ $p < 0.01$)

- 1) 後藤稠, 手塚仁: 揮発性物質, 就中二硫化炭素の吸入実験に用いる装置, 並びに呼気分離装置について, 労働科学季報, 4(1-4): 91-95, 1955.
- 2) 労働省安全衛生部労働衛生課編: 作業環境測定ガイドブック(3), 246-249, 日本作業環境測定協会, 東京, 1978.
- 3) Nelson, G. O.: Controlled Test Atmospheres - Principle and Techniques, : 134-141, Ann Arbor Science, 1972.
- 4) 寺本本次: パーミエーションチューブによる微量標準ガスの調整法と応用, 空気清浄, 6(7), 18-21, 1969.
- 5) Palmes, E. D. and Lindenboom, R. H.: Ohm's Law, Fick's Law, and Diffusion Samplers for Gases, Anal. Chem., 51(11):2400-2401, 1979.
- 6) Tompkins, F. C. JR. and Goldsmith, R. L.: A new personal dosimeter for the monitoring of industrial pollutants, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 38(8):371-377, 1977.
- 7) Sherwood, T. K., Pigford, R. L. and Wilke, C. R.: Mass Transfer, 2:8-53, McGraw - Hill, New York, 1975.
- 8) NIOSH: A recommended standard for occupational exposure to carbon disulfide, DHEW (NIOSH) publication, No. 77-157, 160-168, 1977.
- 9) GASBADGE organic vapor dosimeter - use and analysis instructions, Abcor Wilmington, Ma 01887, U.S.A., 1977.
- 10) NIOSH: criteria for a recommended standard occupational exposure to carbon disulfide, DHEW (NIOSH) Publication, 114-116, 1977.
- 11) Hernberg, S., Partanen, T., Nordman, C. H. and Sumari, P.: Coronary heart disease among workers exposed to carbon disulfide, Brit. J. Industr. Med., 27(4):313-325, 1970.

- 12) Hernberg, S., Tolnen, M., and Nurminen, M.: Eight-year follow-up of viscose rayon workers exposed to carbon disulfide, Work. Environ. Health., 2(1):27-30, 1976.
- 13) 桜井治彦, 関幸雄: 二硫化炭素による血圧動揺, 日本衛生学雑誌, 28(1), 155, 1973.
- 14) Kneebone, B. M. and Freiser, H.: Determination of carbon disulfide in industrial atmospheres by an extraction-atomic absorption method, Anal. Chem., 47(6):942-944, 1975.
- 15) McCammon, CS. Jr., Quinn, PM. and Kupel, RE.: A charcoal sampling method and a gas chromatographic analytical procedure for carbon disulfide, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 36(8):618-625, 1975.
- 16) Hernberg, S., Nordman, CH., Partanen, T., Christiansen, V. and Virkola, P.: Blood lipids, glucose tolerance and plasma creatinine workers exposed to carbon disulfide, Work. Environ. Health., 8(): 11-16, 1971.
- 17) Hernberg, S., Nurminen, M. and Tolonen, M.: Excess mortality from coronary heart disease in viscose rayon workers exposed to carbon disulfide, Work. Environ. Health., 10(2):93-99, 1973.
- 18) Tolonen, S., Hernberg, S., Nurminen, M. and Tiitola, K.: A follow-up study of coronary heart disease in viscose rayon workers exposed to carbon disulfide, Brit. J. Industr. Med., 32(1):1-10, 1975.
- 19) 青野: 未発表調査資料
- 20) Lautenberger, W. J., Kring, E. V. and Morello, J. A.: A new personal badge monitor for organic vapors, Am. Ind. Hyg. Assoc. J., 41(10):737-747, 1980.

Table 1 Influence of temperature upon CS₂ absorption

MEC : Mean Exposure Concentration of CS₂(ppm)
 SD : Standard Deviation
 C-ab : Calculated absorptive weight (mg)
 de : Weight of sample collected (mg)
 rr : Recovery rate $\left(\frac{de}{C-ab}\right) \%$

Charcoal tube method*

Temperature(°C)	A				B				C			
	CS ₂ MEC±SD	C-ab	de	rr (mean)	CS ₂ MEC±SD	C-ab	de	rr (mean)	CS ₂ MEC±SD	C-ab	de	rr (mean)
10.0±0.86	9.5±1.74	0.35	0.35	99.7	17.4±0.85	0.65	0.64	98.5	22.8±1.59	0.85	0.85	99.8
21.3±1.60	8.8±1.24	0.33	0.32	97.0	15.4±0.99	0.58	0.54	93.1	21.3±2.78	0.87	0.83	95.4
27.1±1.30	8.6±0.55	0.32	0.31	96.9	16.5±0.84	0.62	0.58	93.5	22.4±1.90	0.84	0.82	97.6

* Exposure duration: 4 hours

Aspiration rate: 50ml/min

Monitoring badge method*

Temperature(°C)	A				B				C			
	CS ₂ MEC±SD	C-ab	de	rr (mean)	CS ₂ MEC±SD	C-ab	de	rr (mean)	CS ₂ MEC±SD	C-ab	de	rr (mean)
10.4±1.6	9.5±0.88	0.31	0.29	93.5	18.2±0.73	0.62	0.59	95.2	22.8±1.68	0.78	0.72	92.3
22.3±1.3	6.3±0.62	0.25	0.24	96.0	15.0±0.94	0.51	0.53	103.9	23.6±1.81	0.80	0.77	96.2
27.1±1.2	8.0±0.58	0.30	0.28	93.3	15.7±0.37	0.54	0.49	90.7	20.5±1.65	0.70	0.75	107.1

* Exposure duration: 4 hours

Table 2 Influence of relative humidity upon CS₂ absorption

MEC : Mean Exposure Concentration of CS₂ (ppm)
SD : Standard Deviation
C-ab : Calculated absorptive weight (mg)
de : Weight of sample collected (mg)
rr : Recovery rate $\left(\frac{de}{C-ab}\right) \%$

Charcoal tube method*

Relative humidity(%)	A				B				C			
	CS ₂ MEC±SD	C-ab	de	rr (mean)	CS ₂ MEC±SD	C-ab	de	rr (mean)	CS ₂ MEC±SD	C-ab	de	rr (mean)
30 - 40	6.6±0.63	0.25	0.26	104.0	15.6±1.60	0.58	0.57	98.3	23.6±1.80	0.88	0.80	90.9
50 - 64	8.8±1.24	0.33	0.32	97.0	15.8±2.64	0.59	0.60	101.7	21.4±0.80	0.80	0.75	93.8
76 - 77	9.1±0.49	0.34	0.36	105.9	15.8±1.40	0.58	0.57	98.3	23.6±0.79	0.81	0.77	95.1

* Exposure duration: 4 hours Aspiration rate: 50ml/min

Monitoring badge method*

Relative humidity(%)	A				B				C			
	CS ₂ MEC±SD	C-ab	de	rr (mean)	CS ₂ MEC±SD	C-ab	de	rr (mean)	CS ₂ MEC±SD	C-ab	de	rr (mean)
30 -41	6.6±0.63	0.23	0.24	104.3	16.2±1.47	0.55	0.58	105.5	25.3±1.83	0.86	0.87	101.2
50 -70	7.1±1.15	0.24	0.23	95.8	15.1±1.36	0.51	0.47	92.2	22.8±1.67	0.78	0.76	92.3
76 -80	9.1±0.94	0.31	0.19	60.2	18.1±1.90	0.59	0.40	67.8	22.0±0.80	0.77	0.43	56.3

* Exposure duration: 4 hours

Table 3 Influence of wind velocity upon CS₂ absorption

MEC : Mean Exposure Concentration of CS₂ (ppm)
SD : Standard Deviation
C-ab : Calculated absorptive weight (mg)
de : Weight of sample collected (mg)
rr : Recovery rate $\left(\frac{de}{C-ab}\right) \%$

Charcoal tube method*

Wind velocity(m/sec)	A				B				C			
	CS ₂ MEC±SD	C-ab	de	rr (mean)	CS ₂ MEC±SD	C-ab	de	rr (mean)	CS ₂ MEC±SD	C-ab	de	rr (mean)
0.33±0.04	9.3±0.77	0.35	0.34	97.1	11.8±0.91	0.46	0.49	106.5	24.5±2.32	0.96	0.95	99.0
0.50±0.05	6.6±0.62	0.25	0.26	104.0	18.2±0.73	0.68	0.71	104.4	22.8±1.68	0.85	0.85	100.2
1.52±0.16	8.8±1.46	0.33	0.36	109.1	16.5±1.47	0.62	0.56	90.3	23.6±1.81	0.88	0.80	90.9

* Exposure duration: 4 hours Aspiration rate: 50ml/min

Monitoring badge method*

Wind velocity(m/sec)	A				B				C			
	CS ₂ MEC±SD	C-ab	de	rr (mean)	CS ₂ MEC±SD	C-ab	de	rr (mean)	CS ₂ MEC±SD	C-ab	de	rr (mean)
0.33±0.04	9.3±0.77	0.32	0.29	90.6	11.8±0.91	0.41	0.38	92.7	26.6±2.09	0.88	0.94	105.7
0.50±0.05	6.6±0.62	0.23	0.24	104.3	18.2±0.73	0.62	0.60	96.8	22.8±1.68	0.78	0.72	92.3
1.52±0.16	8.8±1.46	0.30	0.29	96.7	16.5±1.47	0.56	0.52	92.9	23.6±1.81	0.80	0.77	96.3

* Exposure duration: 4 hours

Table 4 Influence of H₂S concentration upon CS₂ absorption

MEC : Mean Exposure Concentration of CS₂(ppm)
SD : Standard Deviation
C-ab : Calculated absorptive weight (mg)
de : Weight of sample collected (mg)
rr : Recovery rate $\left(\frac{de}{C-ab}\right) \%$

Charcoal tube method*

H ₂ S concentration(ppm)	A				B				C			
	CS ₂ MEC±SD	C-ab	de	rr (mean)	CS ₂ MEC±SD	C-ab	de	rr (mean)	CS ₂ MEC±SD	C-ab	de	rr (mean)
6.8±1.26	4.6±1.1	0.21	0.22	104.8	15.8±0.37	0.59	0.59	100.5	19.8±1.23	0.74	0.80	108.1
10.0±1.42	4.4±1.0	0.17	0.18	105.9	15.7±1.97	0.49	0.45	91.8	19.5±1.20	0.74	0.76	102.7
16.0±1.56	6.3±0.56	0.24	0.16	66.7	13.9±1.71	0.52	0.31	59.6	28.1±2.84	1.06	0.66	62.3
21.9±1.76	5.6±0.61	0.24	0.16	66.7	15.6±1.27	0.60	0.31	51.6	23.8±0.79	0.89	0.46	51.7

* Exposure duration: 4 hours Aspiration rate: 50ml/min

Monitoring badge method*

H ₂ S concentration(ppm)	A				B				C			
	CS ₂ MEC±SD	C-ab	de	rr (mean)	CS ₂ MEC±SD	C-ab	de	rr (mean)	CS ₂ MEC±SD	C-ab	de	rr (mean)
5.9±1.24	5.5±0.95	0.22	0.20	90.9	14.2±0.91	0.49	0.46	93.9	23.8±1.29	0.81	0.79	97.5
9.5±1.25	5.8±0.48	0.20	0.22	110.0	15.1±1.25	0.51	0.51	100.4	24.3±1.66	0.83	0.79	95.2
19.9±1.26	6.3±0.68	0.21	0.11	52.4	14.1±1.60	0.48	0.35	72.9	23.8±0.79	0.81	0.45	55.6

* Exposure duration: 4 hours

Fig 1 CS₂ Exposure Apparatus

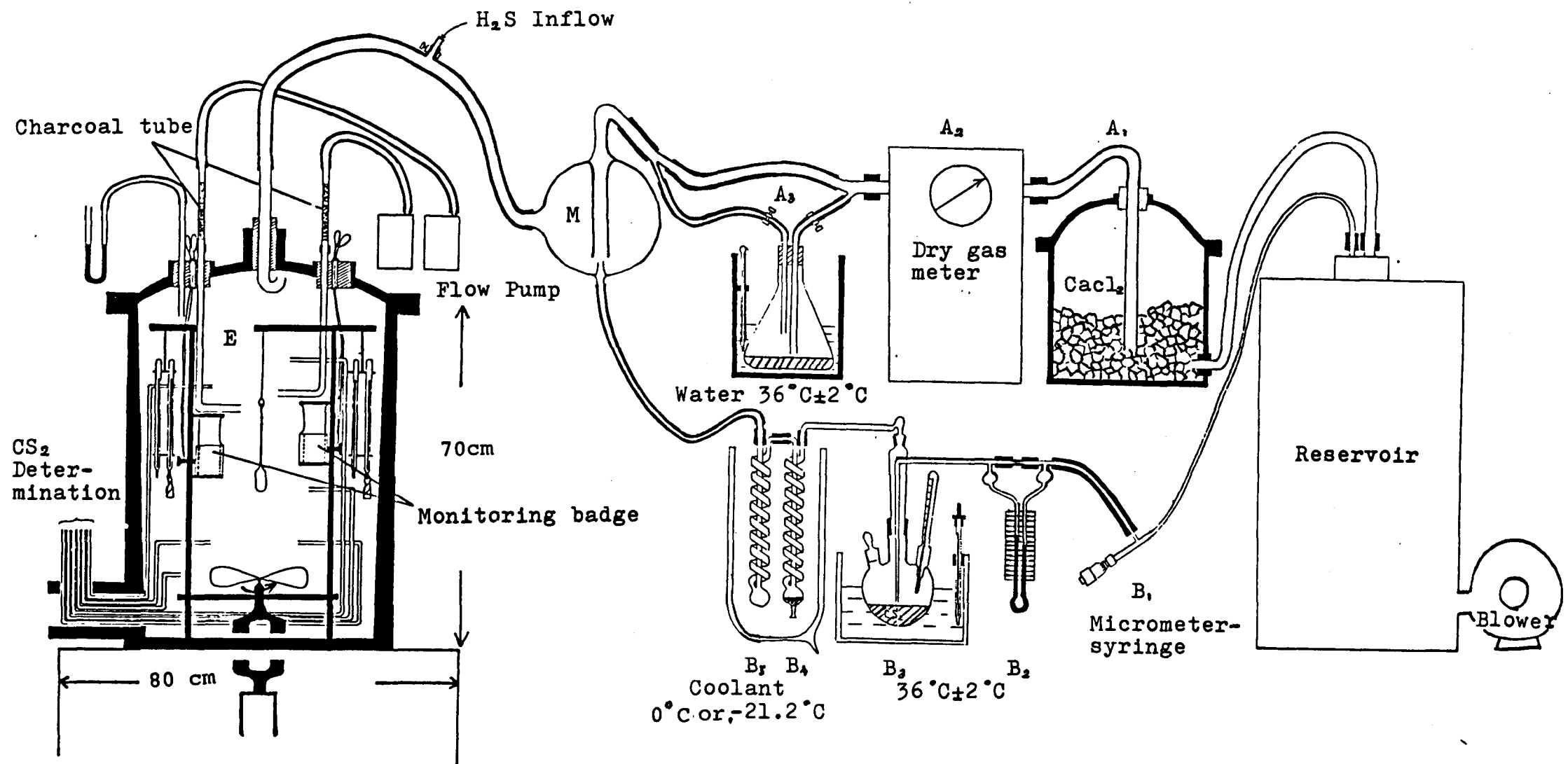


Fig. 2 Determination of H_2S concentration

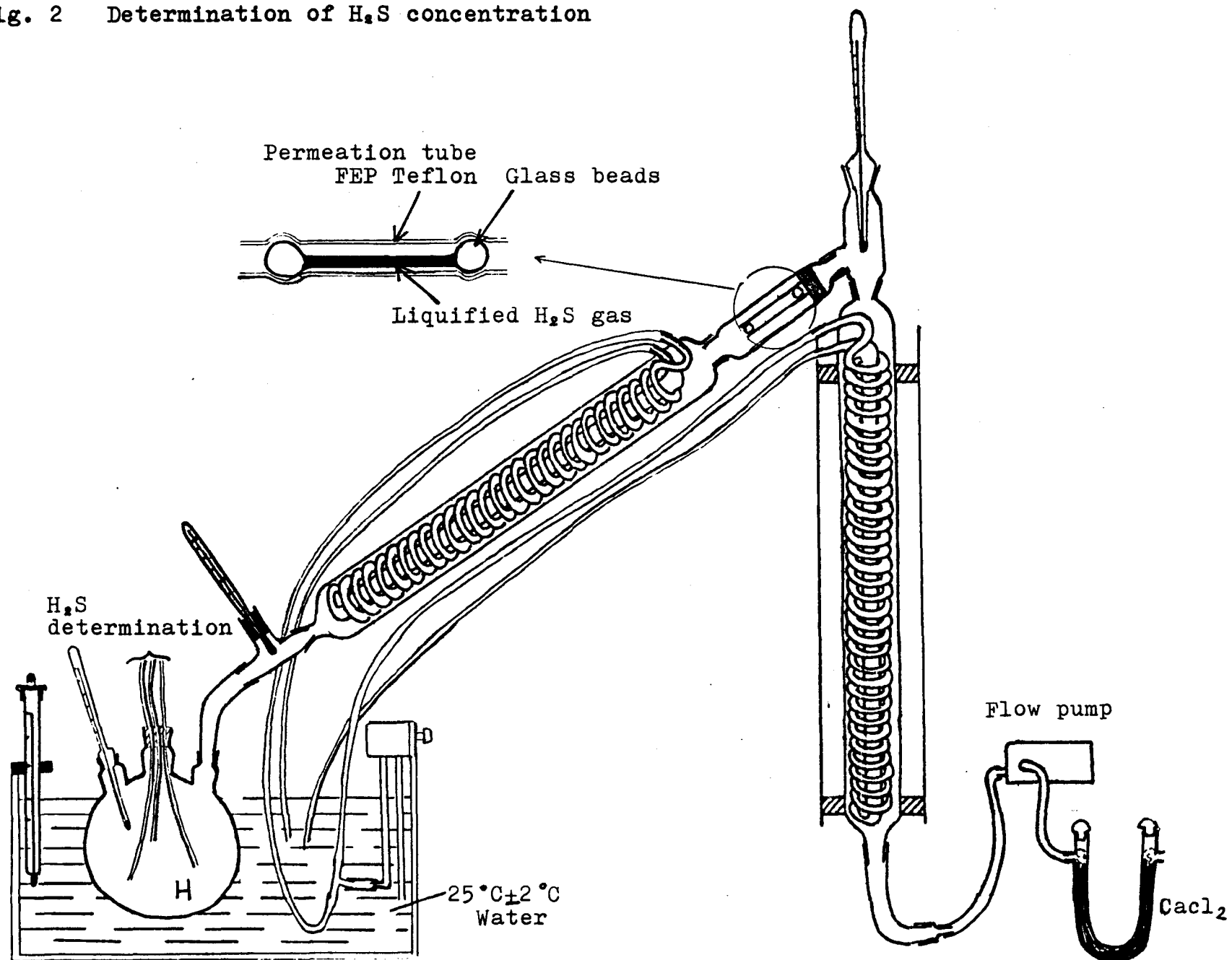


Fig. 3 Correlation between CS₂ exposure concentration and CS₂ concentration obtained by Charcoal tube method

Temperature 10 - 28.5°C
Relative humidity 28 - 77%
Wind velocity 0.31 - 0.80m/sec

N = 13

$Y = 0.97X + 0.21$

$r = 1.00$ ($p < 0.05$)

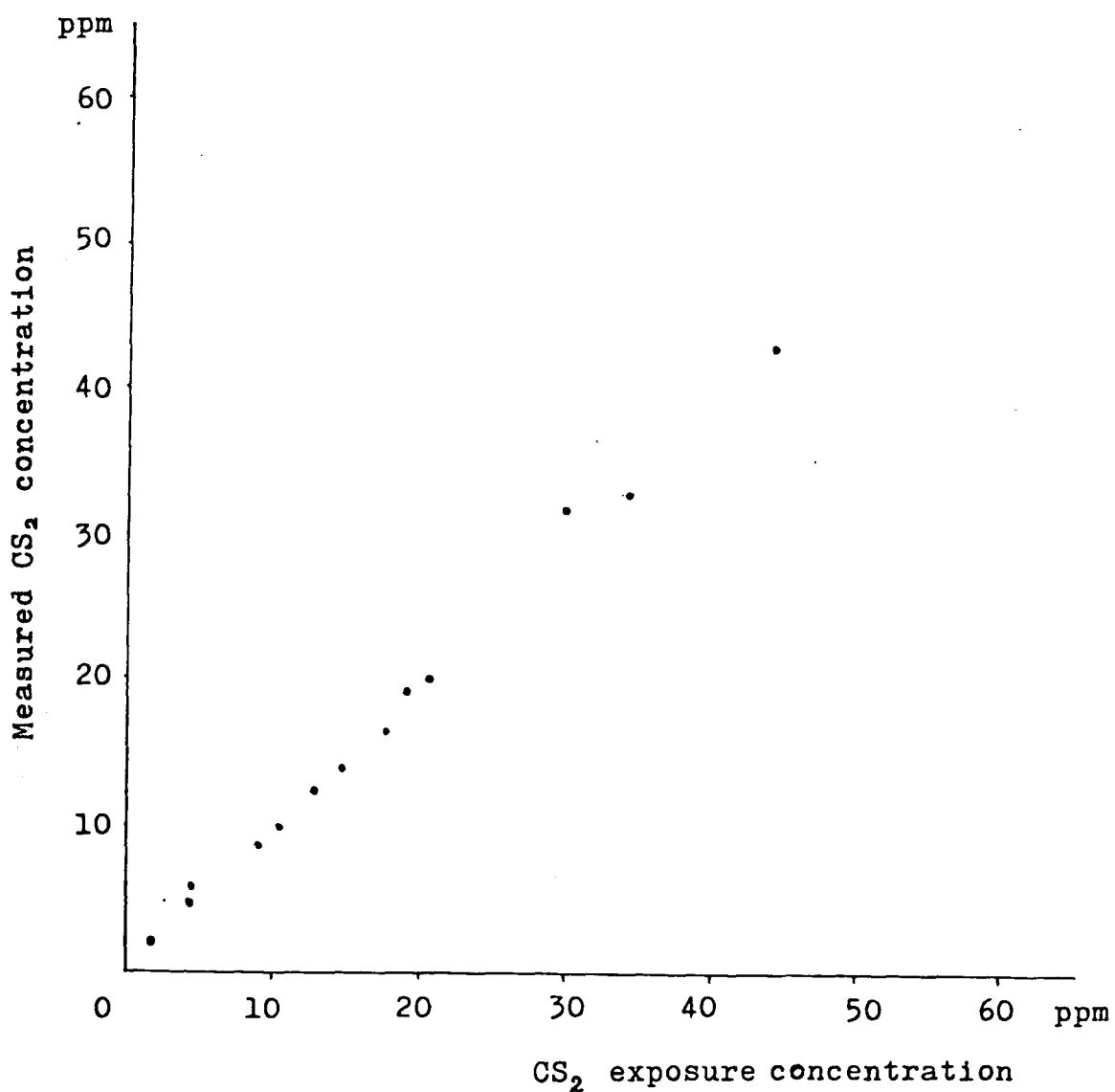


Fig. 4 Correlation between CS₂ exposure concentration and CS₂ concentration obtained by Monitoring badge method

Temperature 8.5 - 28.5 °C
Relative humidity 33 - 70%
Wind velocity 0.31 - 1.62m/sec

N = 11
Y = 1.04X - 1.62
r = 1.00 (p<0.05)

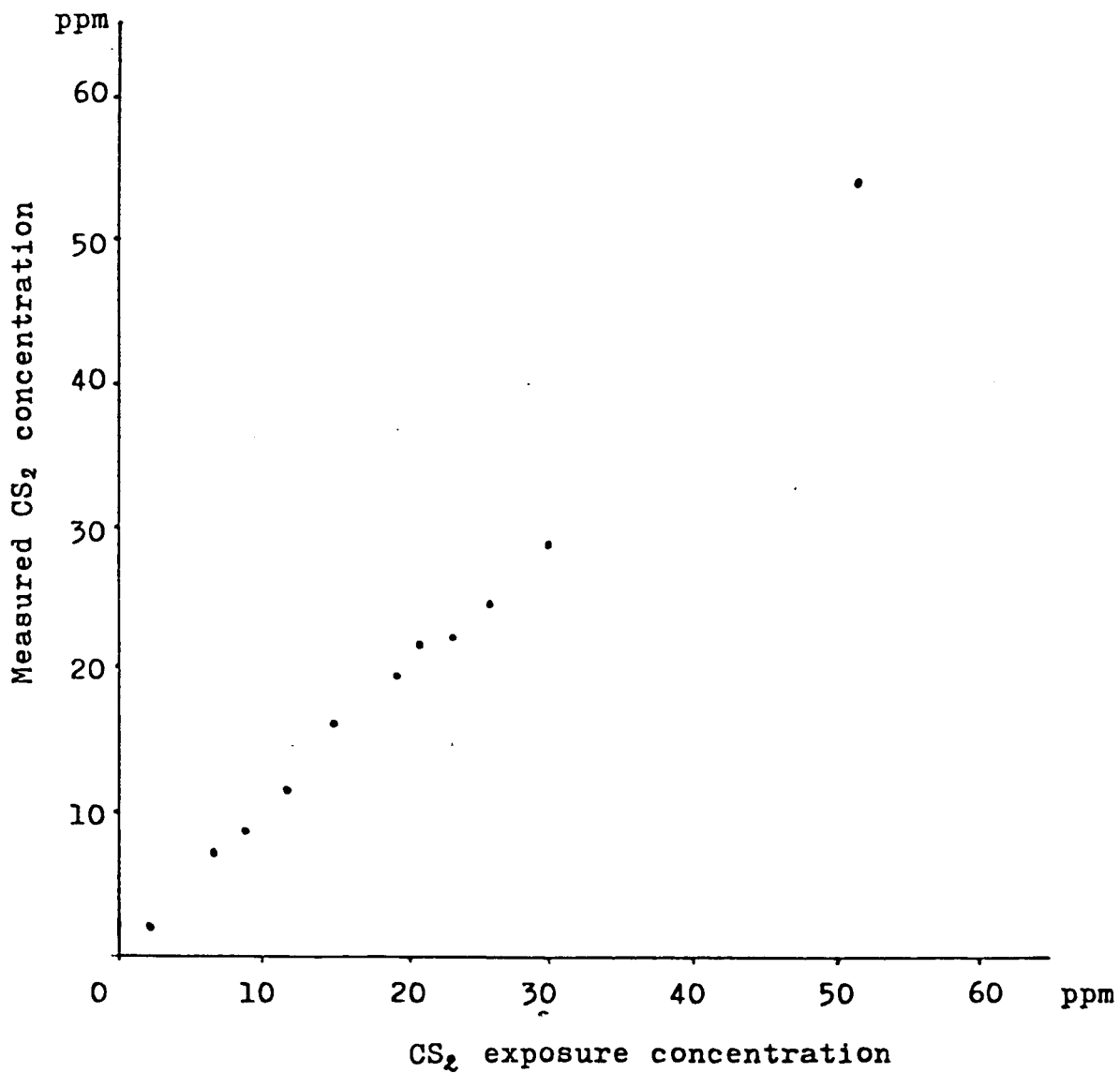


Fig. 5 Correlation between calculated absorptive weight of CS₂ and weight of sample collected by Charcoal tube method

Exposure duration 4 hours
Aspiration rate 50ml/min
Temperature 8.5 - 27.5°C
Relative humidity 28 - 78%
Wind velocity 0.30 - 1.62m/sec

N = 26

$Y = 0.96 + 0.03$

$r = 1.00$ ($p < 0.05$)

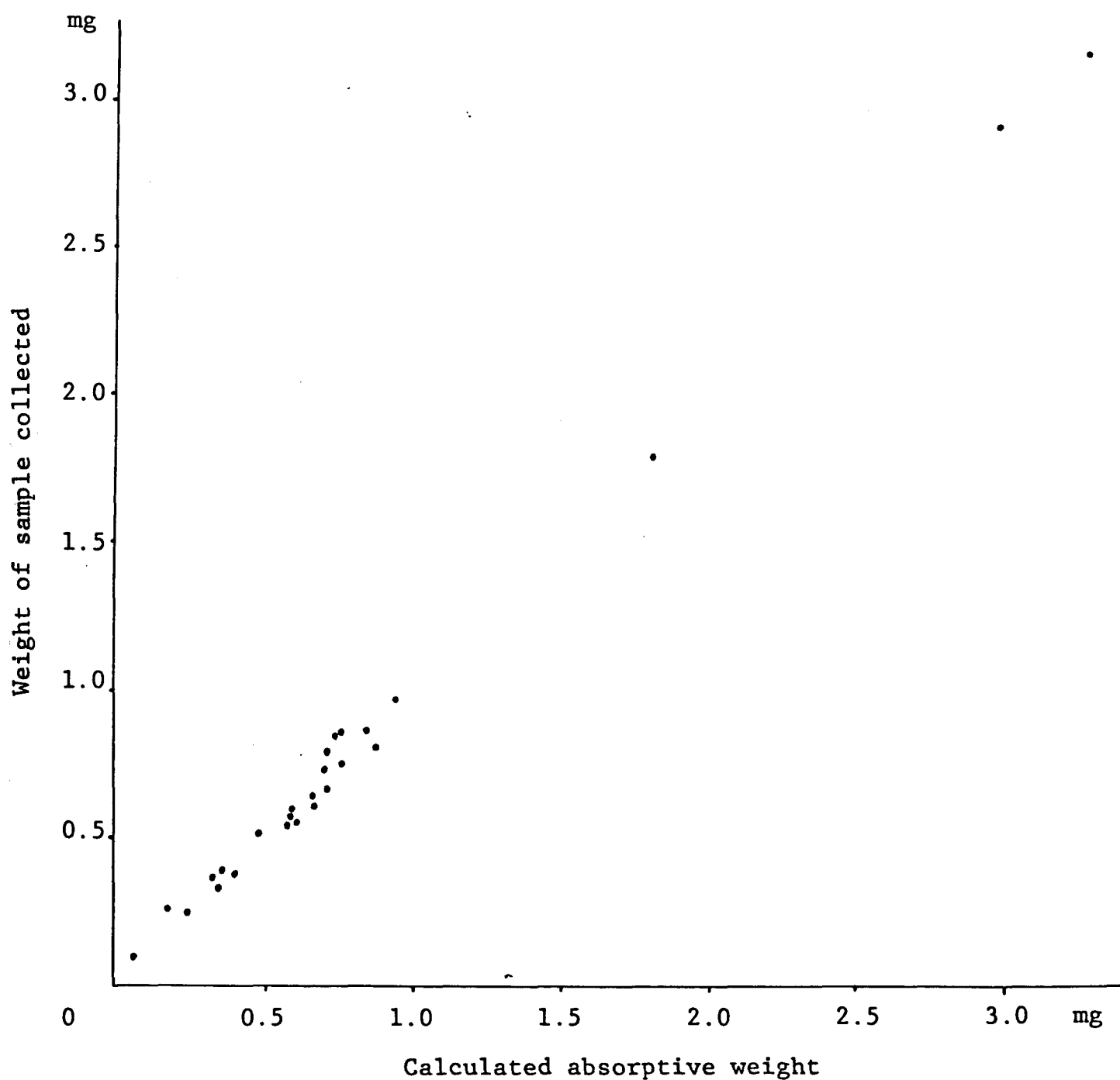


Fig. 6 Correlation between calculated absorptive weight of CS₂ and weight of sample collected by Monitoring badge method

Exposure duration 4 hours
Temperature 8.5 - 28.5°C
Relative humidity 34 - 70%
Wind velocity 0.37 - 1.79m/sec

N = 16
Y = 1.03 - 0.04
r = 0.99 (p<0.05)

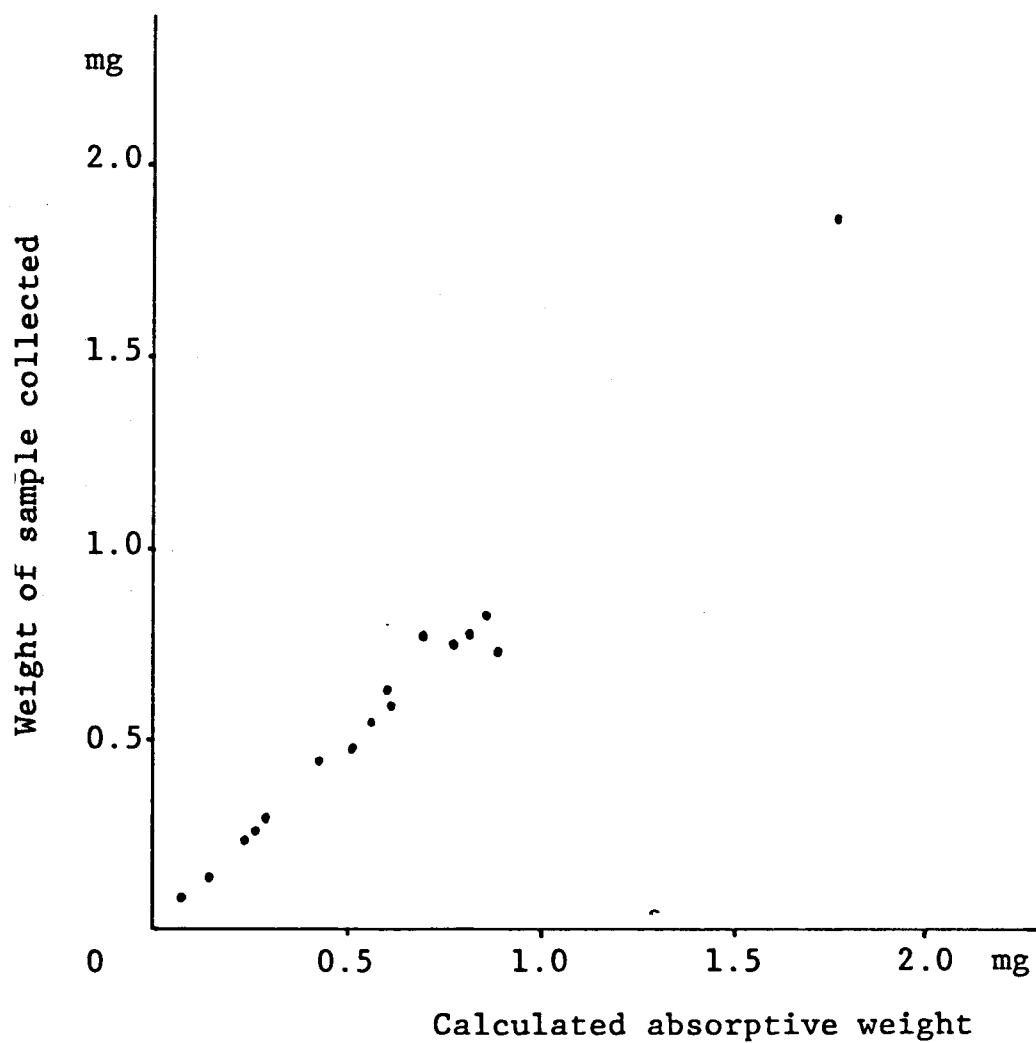
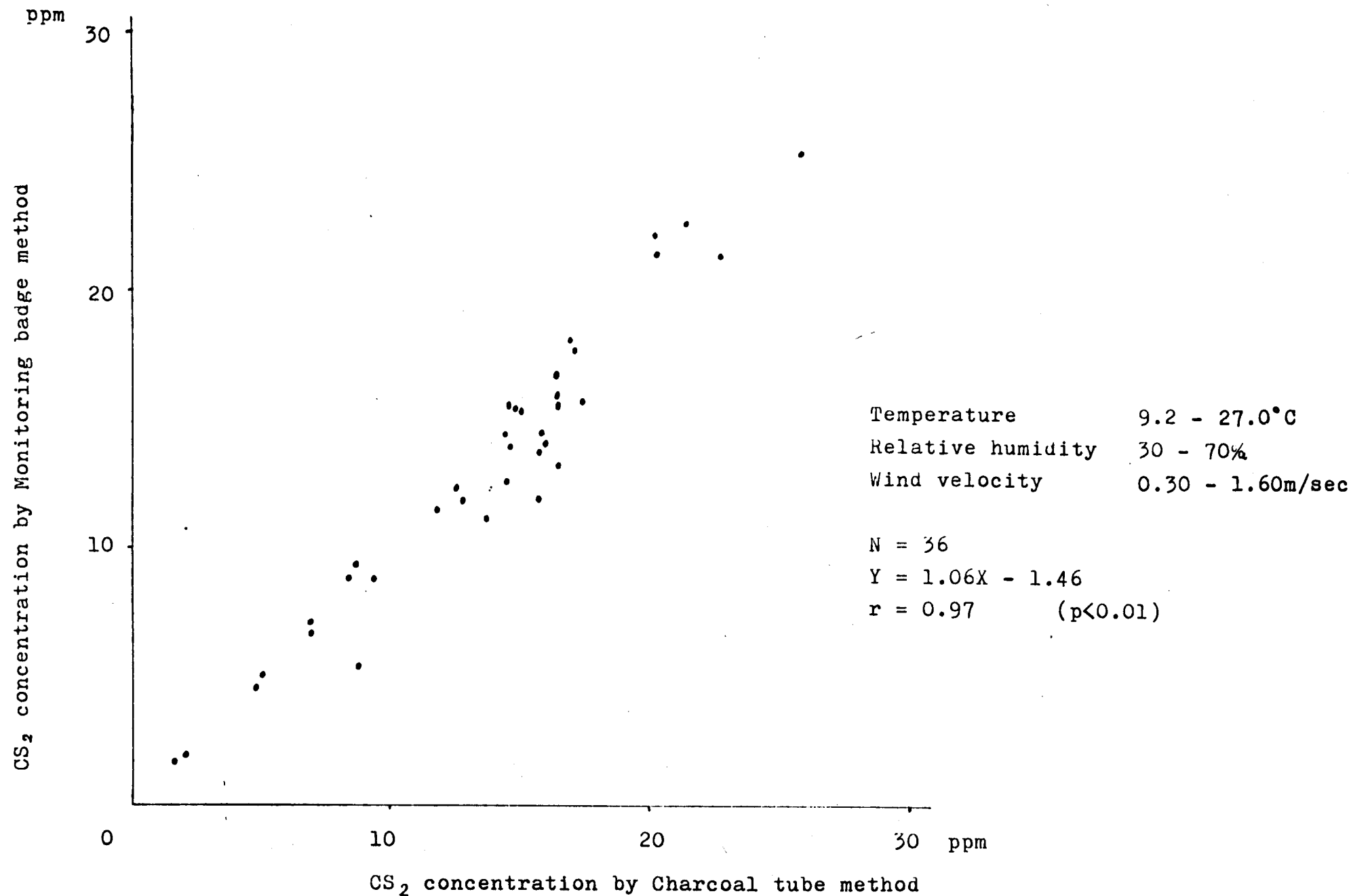


Fig. 7 Correlation between CS₂ concentrations obtained by Charcoal tube method and those by Monitoring badge method



参考論文

1

小脳などの中枢神経障害をきた
した亜急性トルエン中毒の一例

A case with disorders of cerebellum and central nervous
system due to subacute toluene poisoning

平田 衛⁺ 青野裕士⁺ 田端武夫⁺
原 一郎⁺⁺

⁺ 大阪府立公衆衛生研究所労働衛生部
⁺⁺ 関西医科大学公衆衛生学教室

Mamoru Hirata⁺, Hiroshi Aono⁺, Takeo Tabuchi⁺
and, Ichiro Hara⁺⁺

⁺ Department of Occupational Hygiene, Osaka Pre-
fectural Institute of Public Health, 3-69 Nakamichi
1-chome, Higashinari-ku, Osaka, 537, Japan

⁺⁺ Department of Public Health, Kansai Medical
University

Toluene による急性中毒の症例は多く報告されているが、職業性の亜急性曝露により小脳などの中枢神経障害を示した症例は、本邦においては、未だ報告されていない。

我々は、このような症例に遭遇し、その後同種作業について環境調査を行なう機会を得て、症例の曝露状況と症状、徴候との関連も検討することができたので報告する。

症例

48才，男性，1922年生。家族歴：特記すべきものなし。既往歴：1951年急性肝炎。職歴：1945年高小卒。幾つかの職を経て1950年Sゴム工業入社。1960年まで加硫作業に従事。その後、営業、フォークリフト乗務等を経て1972年大型タイヤ補修の下請に出向。1980年2月にS社の下請のJ社に出向し、防水用ゴムシート接着作業に従事しはじめた。

現病歴：屋外での防水用ゴムシート接着作業では苦痛を感じることはなかったが、1980年春及び秋の風呂、便所、炊事場など屋内で

の4回の作業で、頭痛、体のふらつきを経験した。屋内での作業は、2～3人でチームを編成し、接着剤塗布などで作業者がふらつくと交代して作業し、局所排気装置、ガスマスク等はまったくなかったとのことである。1981年11月21日、N市の鉄筋アパートにおいて単独で午前7時から午後10時まで、実働11.5時間接着作業に従事。再び、翌22日午前8時半から23日午前6時まで、実働10.5時間、同作業に従事した。終了後、体のふらつきを感じながら自動車を運転して帰宅したが、途中蛇行運転を注意された。21日から23日の間にシンナー10ℓ、下地塗料5kg、接着剤10kgを消費し、接着部位に下地を2度、接着剤を1度塗布した。工事現場は、バストイレ(約4.5㎡)、炊事場(約3㎡)、洗濯場(約1.5㎡)の各2ヶ所、合計6ヶ所、約18㎡で、いずれも窓はビニール幕で塞かれ、ドアのみ開放が可能であり、局排、ガスマスク等はなく、乾燥促進のため、投光器も用いた。この3日間

のN市の天候は、晴から曇で、最高気温17.9
 ~20.6°C、最低気温10.8~13.5°Cであった。
 23日帰宅し、仮眠の覚醒後に頭痛、嘔気、体
 の浮揚感、耳鳴を自覚した。25日S社診療所
 を受診、投薬をうけたが改善せず、27日N病
 院耳鼻科にてメイロン[®]の点滴静注を受け、体
 の浮揚感等の症状は若干改善した。この頃、
 インポテンツに気づいた。12月15日、O大学
 めま[®]耳鼻科にて、左方優位の電気眼振図所
 見を指摘された。12月20日頃より症状は改善
 しはじめ、1981年1月9日当研究所を受診
 した。

来所時所見：一般理学的所見異常なし。左
 方注視時に水平性眼振あり。指鼻、膝腫試験
 で両側に測定障害あり。両側上肢に細かな静
 止時振戦あり。企画振戦、構音障害なし。
 Romberg陰性。継足歩行は可能であるが、動
 揺著明。閉眼Mann試験で左に倒れる。深部反
 射両側上下肢軽度亢進。病的反射なし。上下
 肢の脱力感なし。表在、深部知覚異常なし。

(臨床検査)末梢血、尿、血液生化学、脳波CT scan、末梢神経伝導速度正常範囲内

経過: 1981年1月下旬には、殆どの徴候及びインボテンツは消失し、2月上旬には継足歩行での軽度動揺以外はみられなくなった。しかし、耳鳴は左頭頂部が鳴る感じとなり、て継続し、2月中旬に悪心、嘔吐もきたした。3月には体の浮揚感は消失し、嘔気、頭痛も軽減したので、5月に搬送業務に配置転換され職場復帰となった。

作業環境調査

1981年3月12日、大阪市内の建築現場において、4階のバストイレ(約4.5 m²)、1階の便所(約1.3 m²)の2ヶ所について調査した。調査時に使用された下地塗料、接着剤シンナーは、症例が使用したものと同じでありその表示された成分をTable 1に示す。調査項目は、有機溶剤個人曝露濃度と尿中馬尿酸濃度である。前者はA、B2人の作業者の同側の襟に装着したエニタリングバッヂ(

Pro-Tek[®]) および活性炭管(栄田化学製, 毎
 分100ml吸引のDuPont P-200に吸引)によりサン
 プリングし, ガスクロマトグラフにより分
 析定量した。後者は, BSC法により比色定量
 した。調査時の天候は晴, 作業現場の気温は
 10.5~15.5°C, 相対湿度は45~62%, 風速は
 0.1~0.5m/秒であった。有機溶剤個人曝露濃
 度の測定結果をTable 2に示した。気中有機
 溶剤は, 大部分トルエンであり, ノルマルヘ
 キサンが少量認められた。トルエンの個人曝
 露濃度は, 作業者Aではエタリングボッチ
 による7.5時間の時間加重平均(TWA)で
 222 ppm, Bでは4.3時間のTWAで195 ppm
 であり, 活性炭管法と一致した。下地塗り,
 接着剤塗りの際には, 512~706 ppmの短時間
 高濃度曝露のみとめられた。尿中馬尿酸濃度
 は, 作業終了時にAで3664 mg/l (フレアチニ
 ン補正值 4859 mg/g Cr)¹, Bで2913 mg/l (
 2387 mg/g Cr)¹と高値を示した。

考察

本症例は2日間に30時間余のトルエンを主とした有機溶剤の相当高濃度の曝露を受けた後、ふらつき等をきたした。本症例のふらつきは、深部反射の軽度亢進、Romberg陰性、深部知覚、末梢神経伝導速度ともに正常であり、後索障害、末梢神経障害は否定され、小脳失調と考えられる。従って、他の症状、徴候および経過と曝露状況から、本症例は、亜急性トルエン中毒による小脳などの中枢神経障害と考えられる。

トルエン中毒による小脳などの中枢神経障害については、既に平山¹⁾、Politisら²⁾が記載している。嗜癖者についてはGrabski³⁾の症例報告以後、多くの症例が報告され、曝露作業員についてはBoor⁴⁾の症例、Wilson⁵⁾の調査などが報告されている。またトルエン曝露量と中枢神経症状との量影響関係について、Oettingen⁶⁾は200~600 ppm 8時間および800 ppm 5時間曝露の人体実験で、Wilson⁵⁾は200~1500 ppmでの作業員の調査で、協同運

動障害を認めている。

本症例の曝露量は、1981年3月の作業環境調査に比し、気温が5~6℃高く、作業面積も約3倍で、より高濃度の曝露が考えられる。すなわち、TWAで220 ppm以上のトルエン曝露が30時間、そのうち、500~700 ppm以上のトルエン曝露が6ヶ所各3回(下地塗り2回、接着剤塗り1回)計18回、1回5分として約1.5時間曝露と推定される。これはOettingenらの実験から推量して、協同運動障害が生じる曝露量と考えられ、30時間の長時間曝露が症状を増し、経過を遷延させたと考えられる。長時間労働も疲労回復を妨げ、抵抗力の低下を招き、症状、経過に不利な作用したと推測される。

文献

- 1) 平山恵造：神経症候学，709，文光堂，
東京，1981

- 2) Politis, M.J., Schaumberg, H.H. and Spencer, P.S.:
Neurotoxicity of selected Chemicals, Spencer, P.S.
and Schaumberg, H.H. edition. Experimental and Clinical
Neurotoxicity, 626, Williams and Wilkins, Baltimore, 1980

- 3) Grabski, P.A. : Toluene sniffing producing cerebellar
degeneration, Amer. J. Psychiatry, 118:461-462, 1961

- 4) Boor, J.W. and Hurtig, H.I. : Persistent cerebellar
ataxia after exposure to toluene, Ann. Neurol. 2:440-442
1977

- 5) Wilson, R.H. : Toluene poisoning, J. Amer. Med. Assoc.
123:1106-1108, 1943

- 6) Oettingen, W.F. Neal, P.A. and Donahue, D.D. : The
toxicity and potential dangers of toluene, J. Amer. Med.
Assoc. 118:579-584, 1942

Table 1. The indicated contents of primer, adhesive and Thinner

Primer	:Toluene 35%, Gasolin 45%, Solid component 20%
Adhesive	:Toluene 60%, n-Hexane 22%, Solid component 18%
Thinner	:Toluene 90%, n-Hexane 5%, Xylene 5%

Table 2. Personal exposure concentration (TWA) of Organic solvents

Worker	Sampling time	Toluene	n-Hexane	Working contents
A	10:45	255ppm (280ppm)	32ppm (38ppm)	Priming in bath and toilet and under contents
	11:47	706	85	Painting adhesive in same place
	11:52			
	12:43	372	28	Sticking sheets in same place
	12:54			
	13:35	211	29	Same above
	19:10	(242)	(31)	
	Total	222 (252)	30 (33)	
B	10:50	277 (256)	32 (30)	Priming in bath and toilet and under content
	11:40	512	43	Priming in lavatory
	11:38			
	11:58	289	2	Painting adhesive to sheets for bath and toilet
	12:48			
	16:06	139 (141)	20 (22)	Sticking sheets in lavatory
	18:40			
	Total	195 (171)	19 (24)	

() : TWA values determined by activated charcoal tube method
 Temperature : 10.5-15.5°C. Relative humidity : 45-62%
 Wind velocity : 0.1-0.5m/sec

参考論文

臨床脳波 Vol.22 No.2 (1980:2) 別冊

低濃度鉛による潜在性ニューロパチー についての電気生理学的検討*

—特に遅運動神経伝導速度について—

佐柳 進 青野 裕士 杉本 寛治
後藤 稔 高橋 光雄 竹内 博明

低濃度鉛による潜在性ニューロパチー についての電気生理学的検討*

—特に遅運動神経伝導速度について—

佐柳 進 青野 裕士 杉本 寛治
後藤 稔 高橋 光雄 竹内 博明

I. はじめに

近年、鉛取扱い職場の労働衛生環境が著しく改善されたため、ニューロパチー (NP) を合併した慢性鉛中毒症患者の発生はほとんどなくなってきた。しかし、鉛は、従来から使用されてきた蓄電池、顔料、鉛管製造業の他に、現在では、合成樹脂工業、窯業、石油工業などでも原料として用いられるようになっている。その為、鉛を取扱う労働者に限らず、一般住民においても、生活食品を通して微量の鉛を体内にとり込む機会は、ことのほか多くなっている。

ところで、電気生理学的検査は、客観的に、しかも非観血的に NP を把握できる鋭敏な方法として知られている。なかでも、逆行性阻止法 *antidromic blocking technique*^{1)~3)} を用いた遅運動神経伝導速度 *conduction velocity of slow α -motor fibres (CVSF)*⁴⁾ の測定は、最大運動神経伝導速度の測定のみでは把握できなかった誘発筋電位の分散現象 *temporal dispersion* を数量化して捉え得る点で、潜在性 NP の診断に有用と思われる。従来、誘発神経筋電位の分散現象は、M波の振幅の低下率とか⁵⁾、持続時間の延長率によって検討され⁶⁾、平均加算法の導入以後は、直接に神経電位の波形の変化を見て論じられてきた。しかし、これらの方法は、個体差や測定誤差に大きく影響され、必ずしも、鋭敏な診断法とはなっていない。

著者らは、微量鉛の人体への潜在的影響を明らかにするため、神経候候を認めない低濃度鉛被曝者

の末梢神経について、従来の電気生理学的検査法により検討するとともに、CVSF を測定して、その有用性を調べた。

II. 対 象

慢性鉛中毒症において見られる自覚症状は、血中鉛濃度 (PbB) 60ないし 80 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 以下の者では認められない⁷⁾。本研究では、PbB を鉛曝露量の指標として、珪藻原料製造三工場の作業員から、PbB 10-19 $\mu\text{g}/\text{dl}$ の12名、20-29 $\mu\text{g}/\text{dl}$ の12名、30-39 $\mu\text{g}/\text{dl}$ の16名、および 40-75(平均50.1) $\mu\text{g}/\text{dl}$ の12名、計52名の低濃度鉛被曝者を対象とした。被検者の抽出に際しては、鉛以外で末梢神経機能に影響を及ぼし得る諸要因を考慮し、以下の諸条件を付した。1) 年齢・性別: 20~45才男子, 2) 飲酒: 日本酒に換算して3合/日以下, 3) 喫煙: 紙巻き煙草に換算して30本/日以下, 4) 鉛以外の神経毒性物質に曝露歴なし, 5) 肝、腎、循環器、内分泌疾患、栄養障害の既往歴なし、および6) 中枢神経症状を認めない。また上記 PbB 各群間における年齢構成は無作為抽出により合致させた。体格、飲酒量、喫煙量も表1のごとくで、各群間の分布に相違がないことを確認した。しかし、鉛の曝露年数は、PbB 10-19 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 群 8.6 $\pm$ 5.9 (S.D.) 年, 20-29 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 群 8.2 $\pm$ 5.0年, 30-39 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 群 9.6 $\pm$ 5.0年に対して、PbB 40-75 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 群は 12.7 $\pm$ 6.2 年と有意に高くなった ($P<0.05$)。

CVSF 測定は、検査装置の不備から22名について行った。PbB 10-39(平均29.9) $\mu\text{g}/\text{dl}$ の13名と

* Neuropsychologic Studies on Subclinical Lead Neuropathy.

Susumu Sanagi, Hiroshi Aono, Kanji Sugimoto, Shigeru Goto: 大阪大学医学部衛生学教室, Mitsuo Takahashi, Hiroaki Takeuchi: 同第2内科学教室
Address/S. Sanagi; Dept. of Hygiene, Medical School, Osaka University, OSAKA 530.

表1 対象者

血中鉛濃度 ($\mu\text{g}/\text{dl}$)	10~19	20~29	30~39	40~75
被 検 数 (人)	12	12	16	12
年 令 (才) M	31.3	30.9	31.6	32.5
R	22~43	21~45	21~45	25~44
身 長 (cm) M	168	164	165	164
R	161~181	153~171	155~176	157~168
体 重 (kg) M	59.2	55.8	57.4	55.8
R	49~71	51~66	48~67	47~69
前腕周径 (cm) M	25.8	25.6	25.6	25.7
R	23~28	24~27	24~27	24~28
飲 酒 量 (合/日) M	1.8	1.6	1.6	1.8
R	0~3	0~3	0~3	0~3
喫 煙 量 (本/日) M	13	16	12	20
R	0~30	0~20	0~30	0~30

M: mean; R: range.

40-75 (平均49.3) $\mu\text{g}/\text{dl}$ の9名との間には、年齢 (10-39 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 群: 32.2才, 21-41才; 40-75 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 群: 33.3才, 25-44才) の他に、体格、飲酒量、喫煙量についても、分布が異なることを確認した。鉛曝露年数は10-39 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 群 10.7 $\pm$ 5.5年と、40-75 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 群 12.7 $\pm$ 6.4年で、やや後者为長くなった。

Ⅲ. 方 法

1) 末梢神経伝導検査 (NSS)

右正中神経について、肘窩-手首間の最大運動神経伝導速度 (MMCV)、手首-短母指外転筋間の残差潜時 (RL)、第二指-手首間の順行性知覚神経伝導速度 (SCV)、手首-肘窩間の混合神経伝導速度 (MNCV) を測定した。

また、肘窩と手首で刺激して短母指外転筋から単極誘導した二個のM波について、基線-陰頂点間で振幅を測定し、手首刺激に対する肘窩刺激の筋電位比 (MAP e/w) を求めた⁵⁾。さらに、手首から双極誘導した知覚神経電位 (SAP) と、肘窩から双極誘導した混合神経電位 (NAP) について、陽-陰頂点間で振幅を測定した。

CVSF 測定原理²⁾ 図1-Aに示すように、神経幹走行路上の二点 S_1 と S_2 で神経幹を超極大刺激し、支配筋Rよりそれぞれの刺激に対応する誘発筋電位 M_1 と M_2 を誘導する。ここで、 S_1 と S_2 を同時に刺激するならば、 S_1 からの順行性インパルスはR

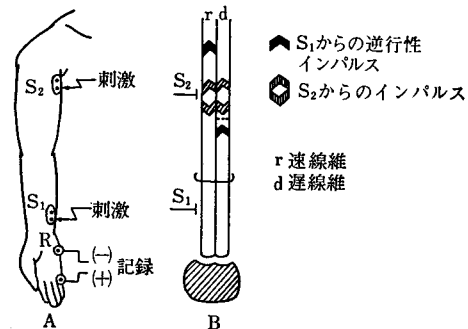


図1 CVSF 測定原理

に達して M_1 が記録されるが、 S_2 からの順行性インパルスは S_1 からの逆行性インパルスに阻止されるため M_2 は全く記録されない。もし S_1 での条件刺激の後、十分に遅らせて S_2 で刺激するならば、 S_1 からの逆行性インパルスは S_2 を通過した後になるので、Rからはそれぞれ最大反応の M_1 と M_2 を導出できる。ところで、 S_1 刺激から S_2 刺激までの刺激間隔を漸時短くしていくと、ある刺激間隔から M_2 は波高を減じ、さらに刺激間隔を短くすると、ついには M_2 は消失するに至る。ここで、波高を減ずる時点では、図1-Bに模式図として示すごとく、神経幹中の遅い線維において、 S_1 からの逆行性インパルスは、 S_2 からの順行性インパルスを阻止する状態となっており、速い線維を伝導す

る S_2 からの順行性インパルスによってのみ M_2 が誘起される。したがって、 M_2 の最大反応を維持できる最小刺激間隔 T は、 S_1 からの逆行性インパルスが最も遅い線維を伝導して S_2 に達するまでの時間に不応期を加えた値となる。そこで、不応期を 1.0msec、刺激二点間距離を D とすると、CVSF を次式にて求めることができる。

$$\text{CVSF (m/sec)} = \frac{D \text{ (mm)}}{T \text{ (msec)} - 1.0 \text{ (msec)}}$$

CVSF 測定手技 上記原理にもとづき、右尺骨神経を刺激し、単神経支配である小指球筋(小指外転筋)から M 波を単極誘導して、CVSF を測定した。手首と肘窩で刺激することにより、 M_1 と M_2 を十分に分離して観察した。あらかじめ、陰極線オシロスコープ (Medelec MS7) で M 波形をみて、円板電極を尺骨神経幹上および小指外転筋の終板帯上に正確に装着した。

まず、電気刺激装置(日本光電 SEN-7103 と high voltage isolator)を用いて、0.1msec 方形パルスで、最初に手首、30msec 後に肘窩を 20%超極大刺激した。次に、漸時刺激間隔を 1.0msec ずつ減じながら、2秒毎に刺激を繰り返した。 M_2 波高の減少する間際からは 0.1msec ずつ刺激間隔を減らした。

一方 M_1 と M_2 を増幅し (Medelec AA7T)、陰極線オシロスコープ上で観察しながら、ポラロイドフィルムに重ね写して記録した(図2)。写真より M_2 波高の急速に低下する直前の刺激間隔を 0.1msec の

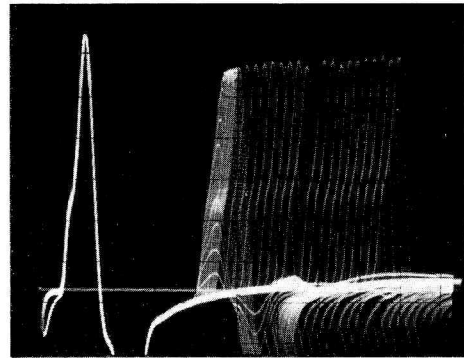


図2 Hopf の逆行性阻止法による M 波高の推移

精度で求め、刺激二点間距離を尺骨神経溝経由で測定して、上式から CVSF を算出した。

検査中は、室温を 25.0°C 前後に調節し、被検者の前腕屈側中央部の皮膚表面温度をサーミスターを用いて測定した。

2) 筋電図検査 (EMG)

同心針電極 (Medelec) による EMG を、右尺側手根伸筋で検討した。異常所見のみられた時は、対側の同名筋と、両側の尺側手根屈筋についても検討した。

3) 血中鉛濃度 (PbB) の測定

鉛曝露量の示標とするために、各被検者から血液 10ml をとり、硫酸で湿式灰化した後、diethyl dithiocarbamate sodium でキレートを生成し、

表2 電気生理学的所見

血中鉛濃度 ($\mu\text{g/dl}$)	10~19	20~29	30~39	40~75
EMG				
Denervation potentials (%)	0	0	0	0
Reinnervation voltages (%)	0	0	6	0
NSS				
MMCV (m/sec)	57.9 ± 3.0	58.5 ± 3.7	59.2 ± 3.5	58.8 ± 3.6
CVSF (m/sec)		49.8 ± 3.0	48.7 ± 4.4	44.4 ± 2.7
RL (msec)	2.6 ± 0.2	2.6 ± 0.5	2.4 ± 0.4	2.4 ± 0.3
SCV (m/sec)	54.7 ± 5.2	56.2 ± 7.6	56.6 ± 5.6	55.5 ± 5.6
MNCV (m/sec)	68.5 ± 2.8	67.4 ± 5.3	69.4 ± 4.0	68.8 ± 3.6
MAP e/w (%)	101 ± 8	99 ± 8	101 ± 10	101 ± 6
SAP (μV)	7.7 ± 3.1	9.6 ± 5.6	10.7 ± 4.7	9.0 ± 3.6
NAP (μV)	36 ± 10	51 ± 17	47 ± 14	53 ± 20

Mean $\pm$ S.D.

表3 神経伝導速度と皮膚温度との関係

神経伝導速度	被検数	相関係数	回帰係数	F検定
MMCV (m/sec)	39	0.432	0.94	$P < 0.01$
CVSF (m/sec)	22	0.587	1.82	$P < 0.01$
SCV (m/sec)	39	0.729	3.03	$P < 0.01$
MNCV (m/sec)	39	0.414	1.07	$P < 0.01$

室温: 23.4~26.0°C; 前腕屈側中央部皮膚温: $32.1 \pm 1.2(\text{SD})^\circ\text{C}$, 29.6~34.7°C.

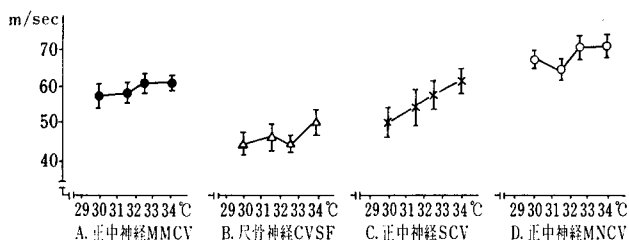


図3 神経伝導速度と皮膚温度との関係

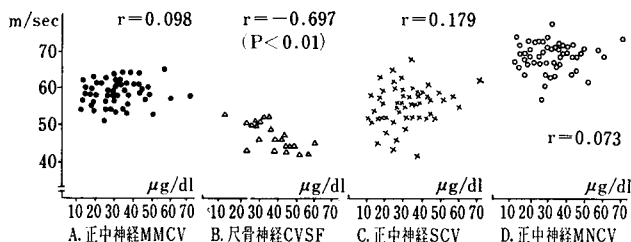


図4 神経伝導速度と血中鉛濃度との関係

methyl iso-butyl ketone で抽出, 原子吸光法で血中鉛量を測定した。

4) 推計法

F検定で, 統計値の有意性を検討した。

IV. 電気生理学的検査結果

PbB 各群の電気生理学的所見を表2に示す。

EMG では, PbB30-39μg/dl 群の一名に軽度の長持続電位の混入を認めたのみで, 異常所見はほとんど見られなかった。

NSS では, PbB40-75μg/dl 群で CVSF 値が $44.4 \pm 2.7\text{m/sec}$ と低く, 10-39μg/dl 群の $49.6 \pm 4.1\text{m/sec}$ との間に有意な差が認められた ($P < 0.01$)。MMCV, RL, SCV, MNCV および MAP e/w は, 群間に差を認めなかった。SAP と NAP は群間でかなりの動揺が見られたが, PbB 値との

間に関連は認められなかった。

検査中, 室温は 23.4°C~26.0°C に調節され, 全被検者の皮膚温も $32.1 \pm 1.2^\circ\text{C}$ とかなり均一であった。しかし, 表2にて示された PbB 上昇にともなう軽度の CVSF 低下に比べて, 神経伝導速度におよぼす温度の影響は極めて大きいことが知られているので⁸⁾ 皮膚温による神経伝導速度実測値の補正を検討した。図3と表3は, 被検三工場のうち同一検査条件の保たれた一工場の被検者の MMCV, SCV, MNCV (39名) および CVSF (22名) と, 前腕屈側中央部の皮膚温度との関連を示したものである。最低温度 29.6°C, 最高温度 34.7°C と, 限定

された温度範囲であったが, いずれの神経伝導速度との間にも有意な正相関が認められた ($P < 0.01$)。算出した線形回帰係数は, 神経幹のより末梢部での測定値である SCV で最も大きかった。

次に, 得られた線形回帰係数を用いて, 各被検者の神経伝導速度実測値を, 皮膚温度 32.0°C に対応する値に補正した。図4と表4に, 補正後の神経伝導速度と PbB との関係を示す。PbB 40-75μg/dl 群の CVSF 値は $43.9 \pm 1.6\text{m/sec}$ と有意に低かった ($P < 0.01$)。また PbB 値と CVSF 値の間には有意な負相関がみられた ($P < 0.01$)。しかし MMCV, SCV, MNCV には各PbB群間で差違は認められず, ほぼ一定であった。

ところで, 本研究の対象者では, PbB 10-39μg/dl 各群に比べて, 40-75μg/dl 群の鉛曝露年数は若干長くなった。そこで神経伝導速度と被曝露年数との

表4 神経伝導速度と血中鉛濃度との関係

神経伝導速度	血 中 鉛 濃 度 ($\mu\text{g}/\text{dl}$)			
	10~19	20~29	30~39	40~75
MMCV (m/sec)	58.0 $\pm$ 2.9	58.1 $\pm$ 3.6	59.3 $\pm$ 3.0	58.8 $\pm$ 3.5
CVSF (m/sec)		48.8 $\pm$ 2.9	48.3 $\pm$ 3.1	43.9 $\pm$ 1.6
SCV (m/sec)	55.0 $\pm$ 4.5	55.0 $\pm$ 6.6	56.7 $\pm$ 4.3	55.5 $\pm$ 5.3
MNCV (m/sec)	68.6 $\pm$ 2.7	67.9 $\pm$ 5.0	69.5 $\pm$ 3.6	68.8 $\pm$ 3.3

Mean $\pm$ S.D. 神経伝導速度は前腕屈側中央部皮膚温32.0°Cに対応する補正值。

表5 神経伝導速度と鉛被曝露年数との関係

神経伝導速度	被曝露年数 (年)		相関係数
	0~9	10~25	
MMCV (m/sec)	58.8 $\pm$ 3.2	58.1 $\pm$ 3.2	-0.177
CVSF (m/sec)	47.1 $\pm$ 3.0	46.4 $\pm$ 4.1	-0.166
SCV (m/sec)	55.8 $\pm$ 5.0	55.2 $\pm$ 5.7	-0.069
MNCV (m/sec)	69.2 $\pm$ 4.1	68.3 $\pm$ 3.3	-0.210

Mean $\pm$ S.D. 神経伝導速度は前腕屈側中央部皮膚温32.0°Cに対応する補正值

関係についても検討した。表5に示すごとく、全被検者の平均鉛曝露年数である10年前後で、神経伝導速度に差は認められなかった。またどの神経伝導速度についても曝露年数との相関係数は低かった。

V. 考 察

神経徴候を認めない低濃度鉛被曝露者を対象とした電気生理学的研究は、以下の報告において見られる。

Cotton M.J.et.al.⁵⁾ は、PbB 40-119 $\mu\text{g}/\text{dl}$ の12名と120 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 以上の7名の蓄電池工場作業者に深腓骨神経NSSを行い、MMCVとMNCVには変化を認めなかったが、膝部刺激によるM波の、足首刺激によるM波に対する電位比(MAP k/a)が、対照群よりも低いことを認めた。Seppäläinen A.M.et.al.⁹⁾ は、PbB 20-70(平均40.2) $\mu\text{g}/\text{dl}$ の蓄電池工場作業26名について、NSSおよびEMGを用いて検討し、尺骨神経MMCVとCVSF、および正中神経MMCVが対照群と比較して低下することを認め、特に尺骨神経CVSFの低下が最も明らかであったと報告した。しかし、正中・尺骨神経SCVと深腓骨・後脛骨神経MMCVには低下を認めなかった。EMGでは神経伝導速度低下を示した11名の被検者のうち、9名に神経原性変化の混

入を認めた。Araki S.et.al.¹⁰⁾ は、PbB 2-73 $\mu\text{g}/\text{dl}$ の低濃度鉛被曝露者36名について、正中・後脛骨神経NSSを用いて検討し、正中神経MMCVとMMCV、および後脛骨神経MMCVに、PbBとの負相関を認め、PbB 20

-73(平均45) $\mu\text{g}/\text{dl}$ の集団で対照群との差が有意になることを認めた。しかし、正中神経RL、SCVと、後脛骨神経RL、SCV、MNCVには、変化を認めなかった。Verberk M.M.¹¹⁾ は、11名の志願者に酢酸鉛の経口投与実験を行い、約1カ月間40 $\mu\text{g}/\text{dl}$ 前後にPbBを調節して、尺骨神経MMCVとCVSFの変化を検討したが、対照群との間に差を認めなかった。Buchthal F.et.al.¹²⁾ は、PbB 50-144 $\mu\text{g}/\text{dl}$ の鉛精練作業20名について、NSSおよびEMGを用いて検討し、正中神経MMCV、終末潜時(TL)、SCV、深腓骨神経TL、浅腓骨神経SVC、および腓腹神経SCVにおいて対照群との間に差を認めた。しかし、EMGには異常を認めなかった。

これらの報告は、鉛投与後に比較的早期の変化を検討したVerberk M.M.の実験報告¹¹⁾を別とするならば、いずれも低濃度鉛の慢性的影響として末梢神経伝導異常を認めたと報告している。PbB 10-75 $\mu\text{g}/\text{dl}$ の被検者について検討した本研究においても、同様に末梢神経伝導異常を示す成績を得た。したがって、末梢神経毒としての鉛は、種々の神経徴候を呈する以前に、低濃度長期曝露によって末梢神経伝導異常を来すものと考えられる。なかでもCatton

M.J.et. al.⁵⁾によって報告されたMAP k/a の選択的低下や, Seppäläinen A.M. et. al.⁹⁾によって報告され, 本研究でも認められた CVSF の顕著な低下は, 最も早期の伝導異常現象として, 誘発筋電位の分散現象のおこることを示している.

鉛による潜在性 NP に見られるこの早期の電気生理学的異常所見一すなわち誘発筋電位の分散現象一に対応する形態変化を明らかにすることは興味ある研究課題である. しかし, 明らかな異常を認めなかったとする Buchthal F. et. al.¹²⁾の報告があるのみで, 未だにこの問題は十分に検討されていない. Fullerton P.M.¹³⁾は, 酢酸鉛を投与したモルモットの坐骨神経を詳細に検討し, 節性脱髄病変と軸索変性病変を同時に認めたが, 低濃度長期曝露群では節性脱髄病変が顕著であったと報告している. 同様に Lampert P.W. et. al.¹⁴⁾は, 炭酸鉛を投与したラットの坐骨神経を電子顕微鏡で調べ, 節性脱髄とその修復過程, および onion-bulb 様の Schwann 細胞の多層化現象を観察したが, 軸索の変性・再生所見は比較的軽度にしに見られなかったと報告した. しかし, 鉛の生体作用には種差が深く係わっており¹⁵⁾, 動物実験でのこれらの結果を, 人で見られる鉛 NP にそのまま外挿することは, 必ずしも適切ではない.むしろ, 現在の研究段階では, 線維再生にともなう線維径ヒストグラムの小径化によってでも, あるいは, 部分的な節性脱髄病変⁹⁾や絞輪膜の微小変化¹²⁾によってでも, 誘発筋電位の分散現象は生じ得ることを実験仮説とした上で, 今後の研究の発展をはからざるを得ない.

ところで, 労働者や一般住民におよぼす低濃度鉛の潜在的毒作用を早期に知り, その予防対策を立てるには, 末梢神経伝導異常の量一反応(作用)関係 dose-response (effect) relationship を検討し, 鉛の末梢神経に対する無作用量 no-effect level を明らかにすることが重要である. しかし, ほぼ似かよった PbB レベルの被検者で量一作用関係を検討した Araki S.¹⁰⁾の報告と本研究では, 結果にかなりの隔たりが見られた. 前者は, PbB 25 μ g/dl 程度ですでに正中神経 MMCV と MNCV, および後

脛骨神経 MMCV に低下を認めたが, 本研究では, PbB 40 μ g/dl 以上で尺骨神経 CVSF の低下を認めたのみであった. 報告によって, 被検集団の諸特性に微妙な相違があり, 検討された神経, 用いられた電気生理学的方法にも相違が見られ, 必ずしも限られた報告を相互に比較して, 妥当な推論を得るのは容易なことではない. しかも, 鉛被曝露量の評価についても, 分析過程で混入する微量鉛に影響されて, 40 μ g/dl 以下の PbB レベルでは, 得られたデータは検査室相互のクロスチェックなくしては比較できないことも事実である(私信, 関幸雄). 今後, これらの諸要因も検討しつつ, さらにデータを重ねて, 鉛の末梢神経に対する無作用量を明らかにしていく必要がある.

VI. ま と め

(1) 微量鉛の末梢神経への潜在的影響を調べるため, 神経徴候を認めない血中鉛濃度 (PbB) 10-75 μ g/dl の珪藻原料製造作業員52名をPbBレベルにしたがって四群に分類し, 右尺側手根伸筋 EMGと右正中神経伝導検査を用いて比較検討した. また22名について右尺骨神経の遅運動神経伝導速度 (CVSF) を測定した.

(2) 被検者の抽出に際しては, 鉛以外の末梢神経障害要因のある者を厳密に除外した. また各 PbB 群間で年齢構成を合致させた. 神経伝導速度は, 前腕皮膚温32.0°C に対応する値に補正した.

(3) 結果, CVSF 値と PbB 値との間に有意な負相関がみられた. CVSF 値の低下は PbB 40-75 (平均49.3) μ g/dl 群で明らかとなった. 最大運動神経伝導速度 (MMCV), 残差潜時 (RL), 順行性知覚神経伝導速度 (SCV), 混合神経伝導速度 (MNCV), 手首刺激に対する肘窩刺激の筋電位比 (MAP e/w), 知覚神経電位 (SAP), 混合神経電位 (NAP) 値および EMG 所見には, 各 PbB 群間で差はみられなかった.

(4) 低濃度鉛による潜在性 NP の早期診断に, CVSF の測定はとくに有用であると考えられる.

文 献

- 1) Thomas, P.K., Sears, T.A., Gilliatt, R.W. : The range of conduction velocity in normal motor nerve fibres to the small muscles of the hand and foot. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.* 22 : 175-181, 1959.
- 2) Hopf, H.C. : Untersuchungen über die Unterschiede in der Leitgeschwindigkeit motorischer Nervenfasern beim Menschen. *Dtsch. Z. Nervenheilk.* 183 : 579-588, 1962.
- 3) Hausmanowa-Petrusewicz, I., Kopec, J. : An evaluation of the method of antidromic stimulation in human peripheral motor nerves. *Electromyography.* 8 : 105-113, 1968.
- 4) Seppäläinen, A.M., Hernberg, S. : Sensitive technique for detecting subclinical lead neuropathy. *Brit. J. industr. Med.* 29 : 443-449, 1972.
- 5) Catton, M.J., Harrison, M.J.G., Fullerton, P.M., Kazantzis, G. : Subclinical neuropathy in lead workers. *Brit. Med. J.* 2 : 80-82, 1970.
- 6) 深尾利津雄 : 末梢神経障害にかんする電気生理学的研究—誘発筋電図におけるM波の再検討. *日内会誌.* 58 : 15-26, 1969.
- 7) 桜井治彦 : 産業中毒便覧, 後藤潤他編 : 305-309, 1977.
- 8) De Jesus, P.V., Hausmanowa-Petrusewicz, I., Barchi, R.L. : The effect of cold on nerve conduction of human slow and fast nerve fibers. *Neurol.* 23 : 1182-1189, 1973.
- 9) Seppäläinen, A.M., Tola, S., Hernberg, S., Kock, B. : Subclinical neuropathy at "safe" levels of lead exposure. *Arch. Environ. Hlth.* 30 : 180-183, 1975.
- 10) Araki, S., Honma, T. : Relationships between lead absorption and peripheral nerve conduction velocities in lead workers. *Scand. J. Work Environ. Hlth.* 4 : 225-231, 1976.
- 11) Verberk, M.M. : Motor nerve conduction velocity in volunteers ingesting inorganic lead for 49 days. *Int. Arch. Occup. Environ. Hlth.* 38 : 141-143, 1976.
- 12) Buchthal, F., Behse, F. : Nerve conduction, nerve biopsy and electromyography in men with increased blood levels of lead. 6th International Congress of Electromyography Symposia : 210-214, 1979.
- 13) Fullerton, P.M. : Chronic peripheral neuropathy produced by lead poisoning in quinea-pigs. *J. Neuropath. exp. Neurol.* 25 : 214-236, 1966.
- 14) Lampert, P.W., Schochet, S.S. : Demyelination and remyelination in lead neuropathy—electronmicroscopic studies. *J. Neuropath. exp. Neurol.* 27 : 527-545, 1968.
- 15) Hopkins, A. : Experimental lead poisoning in the baboon. *Brit. J. industr. Med.* 27 : 130-140, 1970.