

# 微量物質の比重測定法に就て

岡山大学医学部生理学教室 (主任 林 香苗教授)

岡田 勝喜・安田 浩士

[昭和 27 年 4 月 15 日受稿]

## 緒 言

微量液体の比重測定には古来血液の比重測定に用ひられた Hammerschlag 法乃至最近広く使用される硫酸銅法の如き間接的方法か、或はその物質の質量を計る直接的方法かの何れか用ひられるが、此等は共に測定の煩雑困難にも拘らず、正確さも Roth に依れば 0.1% 迄であつた。然るに 1938 年 Linderstrøm-Lang-Lanz により考案された方法は簡単且つ正確で、頗る実用的である。其の要点は次の通りである。

細長い円筒に種々の割合に混合した石油と bromobenzene を入れて、液の高さと比重の間に畧々直線的な関係を成立させる事が出来る。今検液を一滴この混合液の表面下に入ると、滴となつて段々沈下し、漸次速度を減じて静止する。此の時の滴の比重は周囲の石油 bromobenzene 混合液の比重に畧々等しいわけであるから、予め比重のわかつた液 (例へば KCl 溶液) に就て比重の滴の静止位を測つて置けば、検液の静止位から逆に比重を求める事が出来る。Jacobson 及 Linderstrøm-Lang によれば斯の如き混合液は非常に安定で、2 週間室内に放置しても比重-静止位の関係には著変なく、又標準液で検して 2 時間以内ならば、その正確さは 0.1% であると云ふ。教室の下司は原法を追試しその優秀性を確認し、且つ石油 bromobenzene よりも、Benzene Chloroform 混液が勝るといつている。

著者は第二次世界戦争の余波をうけ、此の混液調製材料不足の折から、此の方法の代用とも云ふべき方法、即ち石油と四塩化炭素を混合して上記の如き液柱を作る方法に、更に前記諸法に改良を加へた実験成績を報告する次第である。

## 材料と装置

ありあはせの直径約 1.6 cm のガラス管に底釜を施して用ひた。之に 100c.c. の液体を入れると液の高さは約 50cm になつた。此の液の上面から目盛の紙をはりつける。所謂 Paralleraxis の理を用ひれば読みは正確になる。検液及び標準液を滴下するには、普通臨床で用ひる 2c.c. の注射器を使用した注射針は  $\frac{1}{3}$  のものを使ふと滴下する液体の直径は約 2mm となる。石油-四塩化炭素混合液を攪拌するには、細い針金の先端に更に細い針金を小さく螺線形に巻きつけた第一図の如きものを特別に作つて用ひた。

石油は入手出来た燃料用石油で黄色粗悪。その上少量の揮発油を含んで居たので之を分溜除去した。18°C にて此の比重は約 0.8 であつた。四塩化炭素は武田製薬製品で比重約 1.60 であつた。

混合液柱の各位置に於ける比重は標準液 (其の比重を正確に測定した食塩水) で測定するのであるから、石油及四塩化炭素の比重は大体の目安を定めればよいわけである。

標準食塩水は約 3%, 4%, 5%, 6%, 8%, 9%, 10%, 11%, 12%, 13% の 10 種類を作り、モールの比重天秤で比重を測定した。

比重の温度による誤差はかなり大であるから、補正する必要がある。此の場合、上記食塩水の%を正確にして置けば、第二図の如く、その濃度による変化は畧々直線的であるから、比例により計算し得る便がある。

但し此の時の食塩の純粋度はかなり問題で

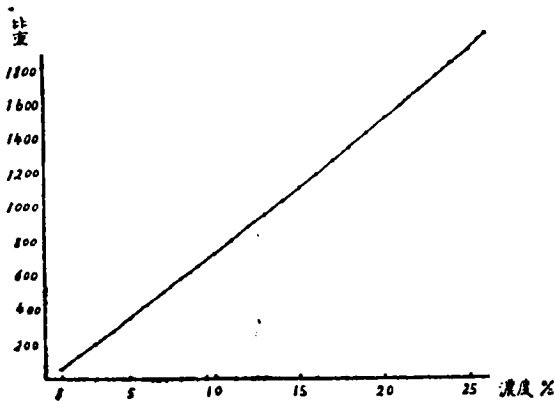


あつて、必ずしも第二表の如き値を取らない事があるから注意を要する。

第一表 水の密度 (理科年表より)

度	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.										
10	9997	9996	9995	9994	9993	9991	9990	9988	9986	9984
50	9982	9980	9978	9976	9973	9971	9968	9965	9963	9960

(第 2 図)



水の密度も同時に書いて置いた。(第一表) 各温度に於ける比重の表が用ひられるような食塩水を作れば、第三表及び第二図の示す如く、温度による比重の変化は畧々直線的であるから、その補正には非常に便利である。

第二表 食塩水溶液比重 (15°)

比 重	NaCl %	比 重	NaCl %	比 重	NaCl %
1.00725	1	1.07335	10	1.14315	19
1.01450	2	1.08097	11	1.15107	20
1.02174	3	1.08859	12	1.15931	21
1.02899	4	1.09622	13	1.16755	22
1.03624	5	1.10384	14	1.17580	23
1.04366	6	1.11146	15	1.18404	24
1.05108	7	1.11938	16	1.19228	25
1.05851	8	1.12730	17	1.20098	26
1.06593	9	1.13523	18		

第三表 食塩水の比重 (技術者便覧による)

濃 度 \ 温 度	2%	4%	6%	8%	10%	12%	14%	16%
10.0°C	1.0144	1.0292	1.0441	1.0591	1.0742	1.0895	1.1049	1.1206
12.0°C	1.0140	1.0287	1.0437	1.0584	1.0735	1.0891	1.1041	1.1197
15.0°C	1.0134	1.0280	1.0427	1.0575	1.0724	1.0876	1.1029	1.1184
18.0°C	1.0128	1.0273	1.0418	1.0565	1.0714	1.0864	1.1017	1.1171
21.0°C	1.0118	1.0268	1.0409	1.0555	1.0703	1.0853	1.1004	1.1162
23.5°C	1.0115	1.0258	1.0401	1.0547	1.0694	1.0843	1.0994	1.1161

比重測定方法

石油-四塩化炭素混合液にて測り得る比重の限界は0.80~1.60である。

両液を種々の割合に混合して、上記限界内で目的に応じた比重の範囲の混合液柱を作ればよい。

例へば石油-四塩化炭素を適当な割合に混合して、比重約1.00のもの50c.c.及び比重約1.10のもの約50c.c.を作り、重い方を先づガラス管に入れ、軽い方をその上に重ねるように流し込む。此の液柱を注意深く攪拌棒で攪拌すれば、液柱の上端から下端に向ひ次第に比重が大となるような液柱が出来る。これ

に前記食塩水の標準溶液を滴下してその静止位から液柱の各部に於ける比重を定め、後検液滴を滴下してその静止位から検液の比重が測定される。

尚滴下する液滴が混合液内で球形を作り得るものでなければ此の方法は全く成立しない。即ち検液の表面張力は混合液の表面張力より大でなければならぬ。又勿論検液と混合液は互に容易に化学反応を起したり或は混合するものであつてはならない。

石油及び四塩化炭素の表面張力は夫々26 (18°) 及び26 (20°) である。

次の種々なる物質の表面張力の表により、rの大きさとその物質の比重、極性電子等を考

へると、石油—四塩化炭素以外にも色々な本  
実験の如き混合液柱を作り得る可能性がある

第四表 種々なる物質の表面張力  $r$ : dyne/cm

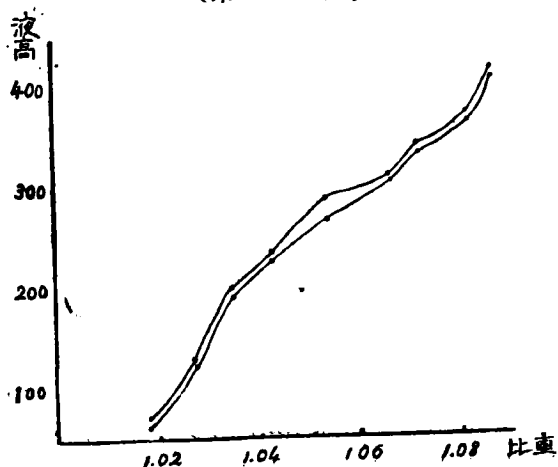
物 質	接 触 せ る 気 体	温 度 (C)	$r$	物 質	接 触 せ る 気 体	温 度 (C)	$r$
水	空 気	10	74.22	金	空 気	1070	580—1000
水	空 気	20	72.75	グリセリン	空 気	20	63.4
エチルアルコール	空 気	20	22.3	クロロフォルム	空 気	20	27.1
メチルアルコール	空 気	20	22.6	酸素(液体)	空 気	-183	13.2
アムモニア水	空 気	15	64.7	水 銀	空 気	15	487
硫 黄	空 気	160	59	石 油	空 気	18	26
硫 黄	空 気	250	118	窒 素(液体)	空 気	-196	8.7
硫 黄	空 気	445	44	鉛	炭酸瓦斯	335	473
エーテル(エチル)	其 蒸 気	20	16.5	二硫化炭素	空 気	20	32.3
オリーブ油	空 気	20	32	パラフィン油	空 気	25	26.4
カドミウム	炭酸瓦斯溶解		815	ベンゼン	空 気	20	28.88

実験成績

(1) 石油—四塩化炭素の混合液に関し、之を幾種類の比重のものを重ね合はせて混合液柱を作るかに就ての実験及び検液の比重の大体の目安がわかつて居るときの液柱の上端及び下端に於ける比重の範囲に就ての実験。

イ. 石油—四塩化炭素の混合液を二つの比重のものと重ね合はせて液柱を作ると、第三図の如く、比重—液高曲線はかなり曲折して居る 而して液柱攪拌の回数を多くすると、次第に此の曲折の程度は少くなるが、攪拌の回数が多い事は液柱の作成に当り、失敗する危険即ち目的の比重の範囲が變つて屢々上下端の比重の差が小になり過ぎる傾向がある。

(第 3 図)

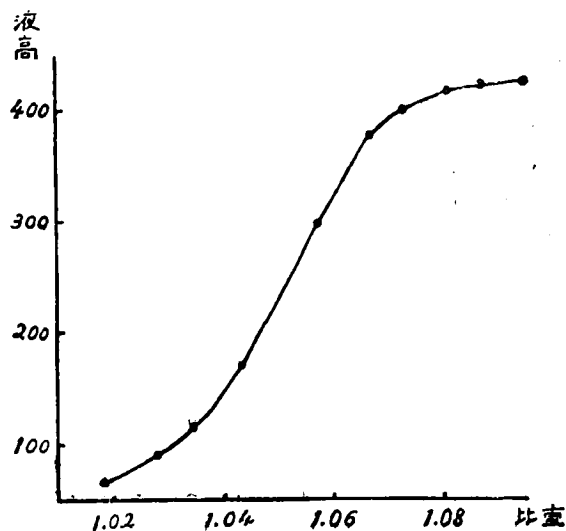


比重 1.05 附近のもの(例へば人の血液)を測定するには比重約 1.02 と 1.10 の二つの比重の混合液を重ね合はせて液柱を作るとよい。

ロ. 石油—四塩化炭素の液柱を四つの比重の混合液で重ね合はせて作ると第四図の如く(イ)の場合よりもかなり美しい曲線が得られる。攪拌の回数は 3 回であつた

此の場合各比重の混合液はその比重を等差級数的に変化させた。其の容積に就ては、15, 35, 35, 15c.c. と 20, 30, 30, 20c.c. の二つの場合を比較して後者の方が安定度の点で良好であつた。即ち液柱の上端及び下端附近で

(第 四 図)



その比重が急速に変化するものが安定性が大きいである。

以上の実験より、比重-液高曲線に就て見ると、今測定しようとする液体の大体の比重を中心として、其の上下に比重にして0.03前後を加減した範囲内で連続的に変化するように四種類の比重の石油-四塩化炭素混合液を重ね合せ、且つ上下端附近の比重がやゝ急速に減少或は増大するようなものを作れば最適である。

広範囲の比重を計るには液柱を長くするか或はそれにも限度のある事であるから、上端と下端との比重の差を大にすればよいわけで、此の時は液柱の安定度は大になる代り、目盛の読みの不正確さによる誤差が大きくなるのは止むを得ない。

(2) 混合液柱の安定度

混合液柱の各部の比重の状態を知る為に液柱作成後一週間にわたり標準液によつて其の静止位を測つた。(第五表)

第五表 数値は mm

標準液 経過日	13%	12%	11%	10%	9%	8%	7%	5%	4%	3%
作成当日	376	365	355	337	305	219	161	145	128	96
2日	379	365	353	333	303	210	162	143	126	93
3日	380	365	352	332	298	209	163	143	128	92
7日	380	372	355	333	298	245	173	149	130	93

即ち混合液内の比重の状態はかなり変化するが、検液と標準液とを殆んど同時に滴下して測定するのであるから、第五表に見られる変動は余り問題にならぬわけである。

(3) 食塩水(標準)滴の位置と時間の関係(直径2mm滴に就て)

各濃度の食塩水を滴下して時間とその滴の位置との関係を見ると第六表の如くなつた。

時間の経過に伴ひ食塩水と混合液との間に起る拡散現象の影響が大となるから、測定の時期は液滴下後なるべく早い方がよい。又滴の大きさは大なるもの程上記影響が少いわけである。

第六表 数値は mm

標準液%	時間 30"	1'	1'30"	2'	5'	10'	20'
13	394			394	394	395	395
12	387	387	387	387	388	388	389
11	362	377	378	378	378	382	
10	335	337	337	338	338	338.5	339
9	287	291	292	292	293	293.5	294
8	246	250		250	252	252	252
6	155	160	162	162	163	163.5	164
5	126	127	127.5	128		128	129
4	80	86	87	88	88.5	89	90
3	0	4		9	10	15	16

はあるが、実際問題として直径2mm前後の滴が適当である。著者は直径2mmの滴の2分後の静止位を測定した。

(4) 本法は検液を滴下すると同時にそれをはさむ比重の標準液滴を滴下して比重を測定するのであるから、考へ得る誤差の出現可能性はかなり減少する。

イ、標準液の比重を決定する時の誤差

1%~5%の5種類の食塩水をモールの重量秤で比重を測り、各10例の平均値と誤差の関係を得た。第七表に示す如くである。

第七表の値は前述の比重の温度変化の表による値とはかなり相違するが、之は食塩の精粗、吸湿性等の差によるものと思はれる。

第七表

食塩水	平均値	平均誤差	比重の誤差%
1% (17°C)	1.00761	0.00006	0.006
2% (18°C)	1.01449	0.00006	0.006
3% (16.5°C)	1.02103	0.00007	0.007
4% (17°C)	1.02951	0.00011	0.010
5% (17°C)	1.03666	0.00015	0.014

ロ、滴の大小による誤差

大きな滴は沈下速度が早く、小さい滴は遅

い、肉眼的に大体静止する点を目安として、直径 2mm 滴滴下 2 分後の静止位と直径 5mm 滴滴下 1 分後の静止位とを比較してその誤差を求めた。(第八表)

第 八 表

標準液 %	12	11	10	9	8	6	5	4	3
比 重	1.0860	1.0811	1.0718	1.0663	1.0530	1.0422	1.0409	1.0339	1.0271
大滴 静止位 (mm)	387	358	317	267	233	164	108.2	48	36
小滴 静止位 (mm)	386	357	313.5	263.5	231	157	102	36.5	25
平均 (mm)	386.5	357.5	315.25	265.25	232	160.5	105.25	42.25	30.5
平均誤差	0.5	0.5	1.75	1.75	1	3.5	3.25	5.75	5.5
比重の誤差 %		0.008	0.02	0.03	0.02	0.05	0.01	0.1	

ハ、同大の滴の分布範囲による誤差 均値と誤差の関係を実験した。その結果は第九表の如くであつた。  
可及的同大の食塩水滴を滴下して、その平

第 九 表

標準液 %	12	11	10	9	8	6	5	4	3
比 重	1.0860	1.0811	1.0718	1.0663	1.0530	1.0422	1.0409	1.0339	1.0271
静止位 (mm)	88.5	75.9	66.0	58.7	49.4	42.3	38.0	34.2	28.5
静止位 (mm)	88.0	76.0	66.1	58.8	49.3	42.4	38.0	34.3	28.6
静止位 (mm)	88.0	75.6	66.2	58.5	49.1	42.5	38.1	34.4	28.6
静止位 (mm)	89.0	75.4	65.9	58.9	49.1	42.5	38.0	34.3	28.6
平均 (mm)	88.375	75.75	66.05	58.775	49.25	42.425	38.025	34.3	28.575
平均誤差	0.375	0.225	0.075	0.125	0.125	0.075	0.0375	0.075	0.0375
比重の誤差 %		0.003	0.005	0.01	0.01	0.007	0.002	0.009	

以上起り得ると思はれるイ、ロ、ハ、の三つの場合の誤差の平均は夫々 0.009%、0.034%、0.007% で之を誤差の波及によつて計算すると、起り得る誤差は 0.04% である。

尤も液柱の上端及下端附近では誤差はかなり大きく、使用不可能である。

以上の実験成績を総合すると、四種類の比重の石油-四塩化炭素の混合液を用ひて液柱を作り、其の上下端の比重の差を 0.05~0.07 とし、且つ上下端附近の比重の変化をやゝ急速なものとする、斯る混合液柱は比較的永く使用に耐へ、測定し得る中間部に於ける比重の誤差は 0.05% 以内である事がわかつた。

、 結 論

本法は従来使用されたベンゼン、クロロホルム等を用ふ方法に比し、少しの損色もなく

且つ最近の実験材料難及び材料粗悪な時、簡単且つ正確さの点に於て正しく有用である。

即ち石油-四塩化炭素液柱は適当に混合する事により、上から下へ畧々直線的に比重が変化するやうなものが出来、直径 2mm 前後の液滴を滴下して其の 2 分後の静止位を測れば、0.05% 以下の誤差でその比重を求め得る事になる。微量なる物質の比重測定には最適の方法と確信する次第である。

尙最も注意を要する点は混合液柱の攪拌技術、標準液のモール比重天秤による比重測定及び温度による補正の三つである事を付け加へて稿を終へたい。

摺筆するに当り、生理学教室林教授並びに西田助教授の御指導に対し、謝意の一端を表す次第である。

## 文 献

- 1) 下司：岡山医学会誌，第55年，3号，昭18年。  
 2) Linderstrøm-Lang-Lanz：Acta. Phy. scand. 1940.  
 3) 吉川：硫酸銅法，昭23年。  
 4) 東京天文台：理科年表，(2603)  
 5) 千葉製作所技術部，技術者便覧。

## 岡田氏微量物質の比重測定法に依る血液比重の 測定法並に岡田氏法補遺

生理学教室(主任 林教授)

専攻生 大 和 人 士

[昭和27年4月15日受稿]

### 第一章 緒 言

血液，血清（漿）及び赤血球の比重測定法は古来色々の方法が考案せられているが，之を大別すると

1. pyknometrische makromethoden
2. pyknometrische mikromethoden
3. mikroaraeometrische methoden

とに分つことが出来る。3. は更に

- a. Roy<sup>12)</sup>, Jones<sup>6)</sup>, Devoto<sup>2)</sup> の法……水と Glycerin とを使用する方法
  - b. Hammerschlag<sup>4)</sup> の法……Benzol と Chloroform とを混合する方法
  - c. Barboŭr u. Hamilton<sup>1)</sup> の法……Xylol と Brombenzol とを混合する方法
  - d. 吉川氏<sup>13)</sup>により米より紹介され最近盛んに使用されている硫酸銅法
- 等に分つことが出来る。

我が教室に於ては既に昭和17年(1942)下司氏<sup>3)</sup>によつて「微量物質の比重測定一新法」として Linderstrøm-Lang u. Lanz<sup>8)</sup>(1938)の変法を紹介して居り，更に昭和22年(1947)岡田・安田<sup>10)</sup>は入手容易なる四塩化炭素と燈油とを材料とする変法を報告しているが，此等は何れも 3. に属する方法である。

私は此の岡田氏法を使用して，人の血漿(P)及赤血球(R)の比重を別個に測つた。

そして岡田氏がその結論で未解決の儘にして置いた諸点に就て些か解決することが出来たので併せて報告すると共に，最近の流行である硫酸銅法との比較に関しても一瞥して見たいと思うのである。

### 第二章 実験装置，材料並に方法

装置としては，内径2.7c.m.高さ20c.m.の100c.c.用液量計を使用することとし，上端にはコルク栓の蓋を付し塵その他異物の侵入を防ぐと共に蒸発による混合液の変化を出来るだけ避けんとした。図1の如く四塩化炭素(28.8°Cの比重1.580)燈油(28.8°Cの比重0.804)を適当に混じた四種の混合液を別々のビーカーに入れ標準食塩水溶液(以下標準液と称す)を滴下し，その浮沈に依て大体の比重を確める。之は計算量を混じたものをその儘重層すると常に所要の比重より低くなる傾向を認めたので，こゝで一旦補正を必要としたわけである。次に20-50c.c.メスピペットで重き比重を有する混合液から逐次重層し，攪拌棒で攪拌して作製する。この場合予め，A, C; B, D(図1)の如く液層の中に交互に沃度又は標準液を混じておくと攪拌の目安になるのである。即ち沃度は微かに着色する程度に入れ，標準液は一滴をビーカー中に滴下して，スピペットで急に吸うと，微細な滴とな