

高等学校における生徒主体型学習による
「化学反応の量的関係」のマイクロスケール実験の
開発 IV -天秤の較正-

A Development of a Microscale Experiment of Stoichiometry
by Active Learning in High School, Part 4 The calibration of the scales

平井俊男^{a)}, 浅井一慶^{b)}, 林山智信^{c)}, 半下石颯太^{c)}, 檜山陸斗^{c)},
板倉将志^{d)}, 岡原正直^{e)}, 柏本涼太^{f)}, 中川徹夫^{g)}

HIRAI Toshio ^{a)}, ASAI Ikkei ^{b)}, HAYASHIYAMA Tomonobu ^{c)},
HANGEISHI Sota ^{c)}, HIYAMA Rikuto ^{c)}, ITAKURA Masashi ^{d)},
OKAHARA Masanao ^{e)}, KASHIMOTO Ryota ^{f)}, NAKAGAWA Tetsuo ^{g)}

a) 大阪府立長尾高等学校 会計年度任用職員

Osaka Prefectural Nagao High School

hirai@nagao.osaka-c.ed.jp

b) 大阪府立長尾高等学校2年生

Osaka Prefectural Nagao High School, Second Year

c) 大阪府立長尾高等学校3年生

Osaka Prefectural Nagao High School, Third Year

d) 大阪府立長尾高等学校卒業生

Osaka Prefectural Nagao High School, Graduate

e) 大阪府立佐野工科高等学校定時制 常勤講師

Osaka Prefectural Sano Technical High School, Night Part Time Program

f) 大阪府立佐野工科高等学校定時制2年

Osaka Prefectural Sano High School, Night Part Time Program, Second Year

g) 神戸女学院大学 人間科学部 環境・バイオサイエンス学科教授

Department of Biosphere Sciences, School of Human Sciences, Kobe College

要旨

この研究の目的は、高等学校新学習指導要領で謳われている主体的・対話的で深い学びを生徒に保障するための、一連のマイクロスケール実験の開発である。大阪府立長尾高等学校では、理科研究部を中心に、主に化学基礎の教科書の「化学反応の量的関係（炭酸カルシウムと塩酸との反応）」の実験に着目し、市販の安価な小型電子天秤（目量[最小表示単位]：0.01 g と 0.001 g）を用いた、従来よりも少量かつ安価で実施可能なマイクロスケール実験（目量：0.01 g の小型電子天秤では 1/4 スケール、目量：0.001 g の小型電子天秤では 1/6 スケール）を開発してきた。目量が 0.001 g の小型電子天秤を用いた 1/6 スケールの検証実験の際に、天秤の示度がまれに 0.005 g 変動することがあった。2022 年度に入り、マイクロスケール実験の要である天秤の示度の変動の原因究明を開始した。小型軽量の天秤それ自体の問題と測定環境（天秤に実験で使える風防がなく、実験機が安定していないなど）の問題を切り分け、まず、前者である目量 0.001 g の小型電子天秤（秤量 [計量できる最大値] 100 g）の較正作業に取り組んだ。1/6 スケール実験では最大約 60 g まで量るため、検定証印打刻済の精密分銅（0.1 g-50 g の 9 種）を使用し、各分銅について 10 回秤量し、その値の繰り返し性を確認した。4 台全ての天秤に関して、精密分銅の示度の平均値は分銅が表す質量の ± 0.001 g（ \pm 目量）の 2 倍の範囲内にあり、ばらつきを示す標本標準偏差もその 2 倍に収まっていた。その結果、本天秤は検証実験での使用に問題のなかったことがわかり、検証実験の妥当性が再確認された。次に、年度の後半に、小型天秤の秤量 100 g までの使用を想定して再度繰り返し性、偏置誤差、さらに直線性を確認した。繰り返し性の調査では分銅 100 g の示度の平均値は分銅が表す質量より 0.028 g 以上小さいものや、そのばらつきを示す標本標準偏差も目量の 5 倍以上のものが複数あった。偏置誤差に関して 4 台全てに問題はなかった。直線性では分銅 100 g を載せたときに示度の安定に少し時間がかかったが、4 台全ての天秤に関して 20 g-90 g までは問題がなかった。ここで扱った「化学反応の量的関係（炭酸カルシウムと塩酸との反応）」の実験は、新学習指導要領の下で検定された 2022 年度から使用されている化学基礎の教科書にも記載されている。これら一連のマイクロスケール実験の開発にかかわる生徒の探究過程は、高等学校新学習指導要領で謳われている主体的・対話的で深い学びそのものであると確信する。

キーワード：高等学校、生徒主体型学習、マイクロスケール実験、化学反応の量的関

係、小型電子天秤の較正、繰り返し性、偏置誤差、直線性

Abstract

The objective of this study is to improve the microscale experiment of stoichiometry in high school, which was developed in a previous work. We tried to make the microscale experimental errors smaller by active learning. Active learning is a new and key concept of the revised Course of Study defined by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology-Japan in 2018. The developed microscale experiment using small electronic scales, an old type (readability: 0.01 g) and a new type (readability: 0.001 g), which consume small quantities of reagents, includes the reaction of calcium carbonate with hydrochloric acid to form carbon dioxide. These are two scale-down models (1/4 scale and 1/6 scale) of the normal scale experiment described in a textbook of “Basic Chemistry” in the Course of Study mentioned above. The work of this Part 4 is to calibrate new small electronic scales (capacity: 100 g, readability: 0.001 g), with which we made the 1/6 scale experiment developed in the previous work Part 3. The reading of the new scales rarely changed by about 0.005 g. Entering the new term of 2022, the calibration of the scales, which include repeatability tests (checking every weight ten times), eccentricity tests and linearity tests (starting with zeroing the scales, then increasing the weights through all the increasing test points[20 g, 40 (= 20 + 10 + 10) g, 60 (= 50 + 10) g, 80 (= 50 + 20 + 10) g] to the maximum weight[100 g] and decreasing the weights through the decreasing test points back to no weight) was performed using stainless steel precision weights [0.1 g, 0.2 g, 0.5 g, 1 g, 2 g, 5 g, 10 g, 20 g, 50 g, 100 g] made by MURAKAMI KOKI Co., Ltd. Japan. No problems were found in the eccentricity tests. All sample standard deviations of every mean of the nine readings of every precision weight [except for the 100 g weight] in the repeatability tests were within 0.002 (= 2 × readability) g. We found no problems with nine readings of the weights [20 g-50 g]. In the linearity tests, all readings of the four test points mentioned before were right, except for the 100 g weight. In conclusion, it is reconfirmed that the 1/6 microscale experiment described above is valid. We are also convinced that the microscale experiment works well for active learning in high school chemistry classes.

Key words: high school, active learning, microscale experiment, stoichiometry, small electronic scale, calibration, repeatability test, eccentricity test, linearity test

1 はじめに

これまでに大阪府立長尾高等学校では、理科学研究部を中心に、市販の安価な小型電子天秤（目量：0.01 g と 0.001 g）を用いた、従来よりも少量かつ安価で実施可能なマイクロスケール実験を開発してきた^{1) - 5)}。そのうちの文献 2) - 5) は、高等学校新学習指導要領の主体的・対話的で深い学び⁶⁾（当初はアクティブ・ラーニングと言われていたが、ここでは生徒主体型学習を用いる）を視野に入れて、化学基礎の教科書の「化学反応の量的関係（炭酸カルシウムと塩酸との反応）」の実験⁷⁾のマイクロスケール化に取り組んだものである。

文献 5) の目量が 0.001 g の小型電子天秤を用いた 1/6 スケールの検証実験の際に、天秤の示度がまれに 0.005 g 変動することがあった。2022 年度に入り、新型コロナウイルスの感染が比較的落ち着いて部活動が通常通り可能になるなかで、新入生の理科学研究部員が中心となり、共著者の 2 年生有志生徒を交え、新規に共同研究者として共著者の大阪府立佐野工科高等学校定時制課程の岡原と柏本を加えて、マイクロスケール実験の要となる天秤の示度の変動の原因究明を開始した。小型軽量の天秤それ自体の問題と測定環境（天秤に実験で使える風防がなく、実験機が安定していないなど）の問題を切り分け、まず、前者である目量：0.001 g の小型電子天秤（秤量 [計量できる最大値]：100 g）の較正⁸⁾作業（大阪府立長尾高等学校の 3 台、大阪府立佐野工科高等学校の 1 台）に取り組んだ。1/6 スケール実験では最大約 60 g まで量るため、大阪府立長尾高等学校では 3 台の天秤に関して、大阪府立佐野工科高校では 1 台の天秤に関して、4 年前の先行研究で較正作業に用いた検定証印打刻済の精密分銅（0.1 g-50 g の 9 種）を使用し、各分銅について 10 回秤量し、その値の繰り返し性を確認し、検証実験での使用に問題がなかったかを検討した。

次に、年度の後半に、小型天秤の秤量 100 g までの使用を想定して再度繰り返し性、偏置誤差、さらに直線性を、検定証印打刻済の精密分銅（0.1 g-100 g の 10 種）を用いて、大阪府立長尾高等学校の 3 台、大阪府立佐野工科高等学校の 1 台について確認した。

ここでは、マイクロスケール実験の要となる、目量が 0.001 g の市販の安価な小型電子天秤を較正することで、先の 1/6 スケールの検証実験の妥当性の再確認とその示度の変動の原因を探る過程について報告する。

2 較正作業 I（分銅：0.1 g-50 g の 9 種）

2-1 繰り返し性の確認

文献 5)の検証実験では本小型電子天秤にて最大で約 60 g を量った。その際に、天秤の示度がまれに 0.005 g 変動することがあった。そこで、2022 年度の 1 学期の限られた時間内（大阪府立長尾高等学校の理科特別教室は冷房設備がないため、較正作業をしていた化学講義室の室温が 30℃を超えない時期と時間帯）で暫定的に、検証実験で最大約 60 g を量るため 50 g 以下の分銅を用いて繰り返し性について確認した。

大阪府立佐野工科高等学校においては、2 学期に普通教室において同様の較正作業を実施したため、以下で述べるストーンテーブルではなく通常の生徒用の分離機を利用し、温度計もなかった。

2-2 準備

・各高等学校の精密分銅：先行研究 1) で較正作業に用いた村上衡器製作所の検定証印打刻済のステンレス鋼製精密分銅⁹⁾ 9 種（表す質量が 100 mg、200 mg、500 mg、1 g、2 g、5 g、10 g、20 g、50 g）

その表す質量（次節の**較正作業 II**も視野に入れて 100 mg から 100 g までの 10 種）と検定公差⁹⁾（「分銅の器差の許容差」¹⁰⁾）を表 1 に示す（以下では「mg」を「g」表記に統一し、今後、各精密分銅について記述する際には「表す質量」を原則省略する）。

・中国製の小型電子天秤 TN-series（図 1）

Digital Mini Scale 100 g×0.001 g（秤量 100 g、目量 0.001 g、使用温度 10-30 ℃）：大阪府立長尾高等学校で使っている 10 台のうちの任意の 3 台（天秤 1、2、3 と呼ぶ）を、大阪府立佐野工科高等学校においても同じ型番の小型電子天秤 2 台のうちの任意の 1 台（天秤 4 と呼ぶ）を較正対象に選んだ。

表 1 精密分銅が
表す質量と検定公差

| 精密分銅が 表す質量/g | 検定公差/g |
|-----------------|---------|
| 0.1 | ±0.0010 |
| 0.2 | ±0.0015 |
| 0.5 | ±0.0012 |
| 1 | ±0.003 |
| 2 | ±0.005 |
| 5 | ±0.010 |
| 10 | ±0.020 |
| 20 | ±0.020 |
| 50 | ±0.030 |
| 100 | ±0.030 |



図 1 小型電子天秤 TN-series

2-3 実施方法

- 1) 化学講義室に較正対象の小型電子天秤を、使用前に室温との同調のために 60 分間放置した。
- 2) 窓際のストーンテーブル上で使用の手引きに従い、天秤（大阪府立長尾高等学校では全ての天秤に関して天秤 1）に付属の 50 g とされる較正用分銅を用いて較正した。
- 3) 風袋引き操作をして示度が 0 g であることを確認し、前述の先行研究で用いたステンレス鋼製の 0.1 g 精密分銅をのせ、持ち上げて示度が 0g に戻ることを 10 回確認した。
- 4) 用いた付属の較正用分銅が 50.000 g である保証がないため、手引きに従い天秤を較正したのち、50 g 精密分銅を毎回風袋引き操作をして 10 回測り、その示度が全て 50.000 g であることを確認することで、今回は付属の較正用分銅が 50.000 g である保証とした。
- 5) 前述の精密分銅 0.1 g から 50 g の 9 個を用いて、それらの質量をそれぞれの天秤で、毎回風袋引き操作をして各分銅につき 10 回ずつ測定を繰り返した。

2-4 結果と考察

以下に繰り返し性の確認結果を示す。

精密分銅 0.1 g から 50 g の 9 つを用いて、それらの質量をそれぞれの天秤で毎回風袋引き操作をし、各分銅につき 10 回ずつ測定した値の標本平均値（以下、平均値と略す）と標本標準偏差（「標本分散の平方根。平均と同じ単位で、データのちらばりの程度を表す」¹¹⁾）のうち大阪府立長尾高等学校のものを、表 2 の天秤 1 から天秤 3 に示す。

次に、大阪府立佐野工科高等学校のものを同様に表 2 の天秤 4 に示す。

表 2 天秤 1 から天秤 4 の各精密分銅の平均値とその標本標準偏差

| | 天秤1(室温30℃) | | 天秤2(室温30℃) | | 天秤3(室温28℃) | | 天秤4(温度計なし) | |
|-------------|-----------------|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|
| 測定年月日 | 2022年7月15日昼 | | 2022年7月15日昼 | | 2022年6月23日昼 | | 2022年10月18日夕方 | |
| 精密分銅が表す質量/g | 10回測定した質量の平均値/g | 標本標準偏差/g | 10回測定した質量の平均値/g | 標本標準偏差/g | 10回測定した質量の平均値/g | 標本標準偏差/g | 10回測定した質量の平均値/g | 標本標準偏差/g |
| 0.1 | 0.1006 | 0.0014 | 0.0997 | 0.0005 | 0.1009 | 0.0012 | 0.1006 | 0.0005 |
| 0.2 | 0.1999 | 0.0010 | 0.1997 | 0.0009 | 0.1998 | 0.0008 | 0.1999 | 0.0020 |
| 0.5 | 0.4995 | 0.0014 | 0.4990 | 0.0018 | 0.4994 | 0.0015 | 0.5009 | 0.0017 |
| 1 | 1.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.0000 | 1.0000 | 0.0000 |
| 2 | 2.0000 | 0.0000 | 2.0000 | 0.0000 | 2.0000 | 0.0000 | 2.0000 | 0.0000 |
| 5 | 5.0000 | 0.0000 | 5.0000 | 0.0000 | 5.0000 | 0.0000 | 5.0000 | 0.0000 |
| 10 | 10.0000 | 0.0000 | 10.0000 | 0.0000 | 10.0000 | 0.0000 | 10.0000 | 0.0000 |
| 20 | 20.0000 | 0.0000 | 20.0000 | 0.0000 | 20.0000 | 0.0000 | 20.0000 | 0.0000 |
| 50 | 50.0000 | 0.0000 | 50.0000 | 0.0000 | 50.0000 | 0.0000 | 50.0000 | 0.0000 |

全ての表の精密分銅 1 g から 50 g について、その標本標準偏差は 0 である。これは、天秤の示度は全て分銅が表す質量に等しかったことを意味する。

「点検基準は、目量の 2 倍以内とする場合が一般的」⁸⁾とされている。全ての表の精密分銅 0.1 g から 0.5 g について、その平均値は分銅が表す質量の ± 0.001 g (±目量) の 2 倍の範囲内にある。同様に、正規分布するはずの平均値からのばらつきを示す標本標準偏差も目量の 2 倍 (0.002 g) に収まり、その分布は左右にすそ野が広がるばらつきの大きいものではない。

以上のことから、本天秤は検証実験での使用に問題がなかったことが判明し、検証実験の妥当性が再確認された。

3 較正作業 II (分銅 : 0.1 g-100 g の 10 種)

前述の中国製の小型電子天秤 TN-series Digital Mini Scale 100 g×0.001 g (秤量 100 g、目量 0.001 g、使用温度 10-30 °C) について、天秤の秤量 100 g までの使用を想定して、繰り返し性、偏置誤差、さらに直線性を、各高等学校の検定証印打刻済の精密分銅 (0.1 g-100 g の 10 種) を用いて、較正作業の環境をそろえるため大阪府立佐野工科高等学校も大阪府立長尾高等学校の化学講義室において 3 学期に確認した。一連の較正作業は同じ人間が担当して、続けて実施した。

較正対象として、大阪府立長尾高等学校で使っている 10 台のうちの任意の 3 台 (天秤 1、2、3 と呼ぶ) を、大阪府立佐野工科高等学校においても同じ型番の小型電子天秤 2 台のうちの任意の 1 台 (天秤 4 と呼ぶ) を選んだ。

3-1 繰り返し性の確認

3-1-1 準備

- ・各高等学校の精密分銅 : 前述した村上衡器製作所の検定証印打刻済のステンレス鋼製精密分銅 10 種 (表す質量が 100 mg、200 mg、500 mg、1 g、2 g、5 g、10 g、20 g、50 g、100 g)
- ・中国製の小型電子天秤 TN-series Digital Mini Scale 100 g×0.001 g (秤量 100 g、目量 0.001 g、使用温度 10-30 °C)

3-1-2 実施方法

- 1) 化学講義室に較正対象の小型電子天秤を、使用前に室温との同調のために 60 分間放置した。
- 2) 窓際のストーンテーブル上で使用の手引きに従い、天秤（大阪府立長尾高等学校では全ての天秤に関して天秤 1）に付属の 50 g とされる較正用分銅を用いて較正した。
- 3) 風袋引き操作をして示度が 0 g であることを確認し、前述の先行研究で用いたステンレス鋼製の 0.1 g 精密分銅をのせ、持ち上げて示度が 0g に戻ることを 10 回確認した。
- 4) 用いた付属の較正用分銅が 50.000 g である保証がないため、手引きに従い天秤を較正したのち、50 g 精密分銅を毎回風袋引き操作をして 10 回測り、その示度が全て 50.000 g であることを確認することで、今回は付属の較正用分銅が 50.000 g である保証とした。
- 5) 前述の精密分銅 0.1 g から 100 g の 10 個を用いて、それらの質量をそれぞれの天秤で、毎回風袋引き操作をして各分銅につき 10 回ずつ測定を繰り返した。

3-1-3 結果と考察

以下に繰り返し性の確認結果を示す。

精密分銅 0.1 g から 100 g の 10 個を用いて、それらの質量をそれぞれの天秤で毎回風袋引き操作をし、各分銅につき 10 回ずつ測定した値の平均値と標本標準偏差のうち大阪府立長尾高等学校のものを、表 3 の天秤 1 から天秤 3 に示す。

次に、大阪府立佐野工科高等学校のものを同様に表 3 の天秤 4 に示す。

表 3 天秤 1 から天秤 4 の各精密分銅の平均値とその標本標準偏差

| | 天秤1(室温20℃) | | | 天秤2(室温20℃) | | | 天秤3(室温23℃) | | | 天秤4(室温20℃) | | |
|-------------|-----------------|----------|--|-----------------|----------|--|-----------------|----------|--|-----------------|----------|--|
| 測定年月日 | 2023年2月27日昼 | | | 2023年2月27日昼 | | | 2023年3月1日午前 | | | 2023年2月12日午後 | | |
| 精密分銅が表す質量/g | 10回測定した質量の平均値/g | 標本標準偏差/g | | 10回測定した質量の平均値/g | 標本標準偏差/g | | 10回測定した質量の平均値/g | 標本標準偏差/g | | 10回測定した質量の平均値/g | 標本標準偏差/g | |
| 0.1 | 0.0994 | 0.0015 | | 0.1001 | 0.0012 | | 0.1004 | 0.0008 | | 0.1008 | 0.0004 | |
| 0.2 | 0.2002 | 0.0010 | | 0.1994 | 0.0013 | | 0.1998 | 0.0014 | | 0.1999 | 0.0007 | |
| 0.5 | 0.4995 | 0.0005 | | 0.4993 | 0.0011 | | 0.5002 | 0.0015 | | 0.5000 | 0.0012 | |
| 1 | 1.0000 | 0.0000 | | 1.0000 | 0.0000 | | 1.0000 | 0.0000 | | 1.0000 | 0.0000 | |
| 2 | 2.0000 | 0.0000 | | 2.0000 | 0.0000 | | 2.0000 | 0.0000 | | 2.0000 | 0.0000 | |
| 5 | 5.0000 | 0.0000 | | 5.0000 | 0.0000 | | 5.0000 | 0.0000 | | 5.0000 | 0.0000 | |
| 10 | 10.0000 | 0.0000 | | 10.0000 | 0.0000 | | 10.0000 | 0.0000 | | 10.0000 | 0.0000 | |
| 20 | 20.0000 | 0.0000 | | 20.0000 | 0.0000 | | 20.0000 | 0.0000 | | 20.0000 | 0.0000 | |
| 50 | 50.0000 | 0.0000 | | 50.0000 | 0.0000 | | 50.0000 | 0.0000 | | 50.0000 | 0.0000 | |
| 100 | 99.9716 | 0.0033 | | 99.9865 | 0.0054 | | 99.9799 | 0.0053 | | 99.9957 | 0.0056 | |

表3の全ての精密分銅1gから50gについて、その標本標準偏差は0である。これは、天秤の示度は全て分銅が表す質量に等しかったことを意味する。

同様に、全ての表の精密分銅0.1gから0.5gについて、その平均値は分銅が表す質量の ± 0.001 g（±目量）の2倍の範囲内にあり、ばらつきを表す標本標準偏差も目量の2倍に収まっている。

唯一、精密分銅100gについて、示度の平均値は4天秤全て分銅が表す質量の ± 0.001 g（±目量）の2倍の範囲を超えている。分銅が表す質量より最大0.028g小さいものがあり、そのばらつきを示す標本標準偏差も目量の3倍ある。平均値がそれよりも100gに近い他の3つでも標本標準偏差は目量の5倍以上ある。

その原因の一つとして考えられるのは、精密分銅100gそれ自体が[検定公差 ± 0.030 g]をもっていることである。

大阪府立長尾高等学校の天秤1から天秤3は同じ50gの較正分銅を用いて最初に較正してから、同じ100gの精密分銅を10回測定しているが、その平均値は100gより検定公差の範囲内で小さい。それゆえ、精密分銅は検定公差の範囲内で100gより軽い可能性がある。しかし、同じ分銅を測定している3つの天秤の平均値が ± 0.001 g（±目量）の2倍の範囲内ではないため、それらは同じとはいえない。さらに、標本標準偏差も目量の3倍から5倍あり、ばらつきも大きい。これらの天秤には問題があり、秤量の100gを量るには不適である。

同様に、大阪府立佐野工科高等学校の天秤4についても、その平均値は100gより検定公差の範囲内で小さいので、精密分銅は検定公差の範囲内で100gより軽い可能性がある。そのため、平均が分銅が表す質量の目量の2倍の範囲内かもしれない。しかし、標本標準偏差は目量の5倍あり、ばらつきは大きい。この天秤も秤量の100gを量るには不適である。

精密分銅50gも同様に[検定公差 ± 0.030 g]をもっているが、その影響は認められない。

3-2 偏置誤差の確認

3-2-1 準備

- ・各高等学校の精密分銅: 村上衡器製作所の検定証印打刻済のステンレス鋼製精密分銅表す質量が50g（秤量の1/3の分銅がないので1/2の分銅で代用した）
- ・中国製の小型電子天秤 TN-series Digital Mini Scale 100g \times 0.001g（秤量100g、目量

0.001 g、使用温度 10-30 °C)

3-2-2 実施方法

前述した繰り返し性の確認作業に続けて、以下の操作を行った。

1) 精密分銅 50 g を載せる前に風袋引き操作をして、示度が 0 g であることを確認した。

2) 図 2 に示す計量皿に分銅をのせる位置 (順番) に従い、位置 1 (計量皿の中心) に分銅を載せ、示度を読んだ → 分銅を降ろし、示度が 0 g であることを確認後、風袋引き操作 → 位置 2 に分銅を載せ、示度を読んだ → 分銅を降ろし、示度が 0 g であることを確認後、風袋引き操作 → 位置 3 に分銅を載せ、示度を読んだ → 分銅を降ろし、示度が 0 g であることを確認後、風袋引き操作 → 位置 4 に分銅を載せ、示度を読んだ → 分銅を降ろし、示度が 0 g であることを確認後、風袋引き操作 → 位置 5 に分銅を載せ、示度を読んだ → 分銅を降ろし、示度が 0 g であることを確認後、風袋引き操作 → 位置 1 に分銅を載せ、示度を読んだ → 分銅を降ろし、示度が 0 g であることを確認した

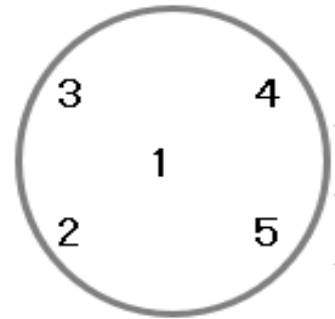


図 2 計量皿に分銅をのせる位置 (順番)

3-2-3 結果と考察

天秤 1 から天秤 4 について、計量皿に精密分銅 50 g を載せる位置 1、2、3、4、5、1 の全ての示度は、50.000 g であった。これらから、天秤 1 から天秤 4 の偏置誤差は認められない。

3-3 直線性の確認

秤量 100 g を 5 等分し、計量皿に載せた精密分銅 20 g、40 (= 20 + 10* + 10) g、60 (= 50 + 10*) g、80 (= 50 + 20 + 10*) g、100 g の示度を確認した。100 g の示度が不安定だったので、分銅の増加時の 80 g と 100 g の間に 90 g をはさんで確認した。

今回は 10 g の分銅を 2 個用いるので、10* g と 10 g という表記で、区別して分銅を用いたことを示した。

3-3-1 準備

・各高等学校の精密分銅: 村上衡器製作所の検定証印打刻済のステンレス鋼製精密分銅

4 種 5 個（表す質量が 10 g 2 個、20 g、50 g、100 g）

・中国製の小型電子天秤 TN-series Digital Mini Scale 100 g×0.001 g（秤量 100 g、目量 0.001 g、使用温度 10-30 ℃）

3-3-2 実施方法

前述の偏置誤差の確認作業に続けて、以下の操作を行った。

- 1) 分銅を載せる前に風袋引き操作をして、示度が 0 g であることを確認した。
- 2) 20 g の分銅を載せ、その示度を読んだ。計 20 g。
- 3) 10* g と 10 g の分銅を載せ、その示度を読んだ。計 40 g。
- 4) 20 g と 10 g の分銅を降ろし、50 g の分銅を載せ、その示度を読んだ。計 60 g。
- 5) 20 g の分銅を載せ、その示度を読んだ。計 80 g。
- 6) 10 g の分銅を載せ、その示度を読んだ。計 90 g。
- 7) 全ての分銅を降ろし、100 g の分銅を載せ、その示度を読んだ。計 100 g。
- 8) 100 g の分銅を降ろし、50 g、20 g と 10* g の分銅を載せて、その示度を読んだ。計 80 g。
- 9) 20 g の分銅を降ろし、その示度を読んだ。計 60 g。
- 10) 50 g の分銅を降ろし、20 g と 10 g の分銅を載せ、その示度を読んだ。計 40 g。
- 11) 10* g と 10 g の分銅を降ろし、その示度を読んだ。計 20 g。
- 12) 全ての分銅を降ろし、その示度を読んだ。計 0 g。

表 4 天秤 1 から天秤 4 における分銅質量と測定値

| | 天秤1(20℃) | 天秤2(20℃) | 天秤3(23℃) | 天秤4(20℃) |
|--------|-------------|-------------|-------------|--------------|
| 測定年月日 | 2023.2.27 昼 | 2023.2.27 昼 | 2023.3.1 午前 | 2023.2.12 午後 |
| 分銅質量/g | 測定値 | 測定値 | 測定値 | 測定値 |
| 開始 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| | 20.000 | 20.000 | 20.000 | 20.000 |
| | 40.000 | 40.000 | 40.000 | 40.000 |
| | 60.000 | 60.000 | 60.000 | 60.000 |
| | 80.000 | 80.000 | 80.000 | 80.000 |
| | 90.000 | 90.000 | 90.000 | 90.000 |
| | 100.000 | 99.967 | 99.986 | 99.978 |
| | 80.000 | 80.000 | 80.000 | 80.000 |
| | 60.000 | 60.000 | 60.000 | 60.000 |
| | 40.000 | 40.000 | 40.000 | 40.000 |
| | 20.000 | 20.000 | 20.000 | 20.000 |
| 最後 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |

3-3-3 結果と考察

載せた分銅の測定値のうち、大阪府立長尾高等学校のものを表 4 の天秤 1 から天秤 3 に示す。

次に、大阪府立佐野工科高等学校のものを同様に表 4 の天秤 4 に示す。

精密分銅 100 g に対する示度の安定に少し時間がかかったが、4 台全ての天秤に関して 20 g-90 g までは問題がなかった。精密分銅が表す質量と同じ測定値が得られている。

ただ、精密分銅 100 g については、繰り返し性のところで述べたことと同じ問題が認められた。示度の値が分銅が表す質量 100 g より最大 0.033 g 小さいものがあり、他の 3 台も ± 0.002 g（±目量の 2 倍）の範囲を超えている。

これら 4 台の天秤はどれも秤量の 100 g を量るには不適であるが、直線性については 20 g-90 g までは問題がない。

3-4 まとめ

繰り返し性の確認から、較正対象に選んだ 4 台の天秤はどれも秤量の 100 g を量るには不適であることが判明した。偏置誤差に関して 4 台全てに問題はなかった。直線性では全ての天秤に関して 20 g-90 g までは問題がなかった。

これらのことから、実験では 90 g まででの使用が望ましい。

4 おわりに

高等学校新学習指導要領の主体的・対話的で深い学びを保障するための、マイクロスケール実験の開発とその過程について述べた。

1/6 スケールの検証実験で用いた小型電子天秤の示度の変動の原因究明のため、天秤それ自体の問題と測定環境（天秤に実験で使える風防がなく、実験機が安定していないなど）の問題を切り分け、まず、前者である目量：0.001 g の小型電子天秤（秤量 [計量できる最大値]：100 g）の較正作業、繰り返し性、偏置誤差、さらに直線性の確認に取り組んだ。

その結果、90 g までの使用に関しては問題のないことがわかった。検証実験は妥当であると再確認した。

検証実験の妥当性の再確認過程とマイクロスケール実験の要である天秤の示度の変動の原因を探る過程は、高等学校新学習指導要領で謳われている主体的・対話的で深い学びそのものであると確信する。

測定環境（天秤に実験で使える風防がなく、実験機が安定していないなど）の問題解決のための実験で使用可能な天秤の風防の開発等は、今後の課題である。

謝 辞

英文抄録にご助言をいただいた A. Kirkham 氏に感謝します。本研究は、JSPS 科研費 基盤研究 C、17K00991 の助成を受けたものである。

文 献

- 1) 笹部純史、平井俊男、伊藤悠太、中原広晴、原陽宏、大槻奏空、岡島拓未、河合陽菜乃、河内脩作、山口嵩斗、中川徹夫、第 18 回近畿地区化学教育研究発表会(2016)
- 2) 平井俊男、鶴田修平、石本結花子、大國結希、田澤拓斗、田中翔太、前川泰貴、中川徹夫、第 20 回近畿地区化学教育研究発表会(2018)
- 3) 平井俊男、中川徹夫、神戸女学院大学教職センター研究紀要、第 4 巻、pp.17-25(2021)
- 4) 平井俊男、青田鏡広、豊島瑠菜、西川輝、中山頼子、中川徹夫、同上書、第 4 巻、pp.27-34(2021)
- 5) 平井俊男、青田鏡広、是澤日向、山崎海空、板倉将志、浅井一慶、岡原正直、中川徹夫、同上書、第 5 巻、pp.21-33(2023)
- 6) http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/___icsFiles/afieldfile/2018/07/11/1384661_1_2_1_1.pdf (2021 年 5 月 5 日現在)
- 7) 山内薫ほか、高等学校 改訂 新化学基礎、pp.114-115、第一学習社(2016)
- 8) <https://www.vibra.co.jp/assets/pdf/checking.pdf> (2024 年 3 月 7 日現在)
- 9) <https://www.murakami-koki.co.jp/products/weight/precision/> (2024 年 3 月 7 日現在)
- 10) <https://kikakurui.com/b7/B7611-3-2015-01.html> (2024 年 3 月 15 日現在)
- 11) http://lbm.ab.a.u-tokyo.ac.jp/~omori/kokusai11/koku2/koku11_509.html (2024 年 3 月 15 日現在)