１年理科課題研究の振り返り①

○　１年次に行った理科課題研究について、**「各実験班」**で以下の点を振り返りましょう。

Ｑ１．自分達の課題研究について、以下の（１）～（４）で、うまくいった点と問題点、それぞれについて、考えられるだけ記入しましょう。さらに、その問題点に対する改善策を具体的に記入しましょう。 **※　第１学年 AKC27 の「ワークシート１」等を参考にすること**。

（１）テーマの選択や決定について

＜うまくいった点＞

＜問題点　→　考えられる改善策＞

（２）実験計画の立案について

＜うまくいった点＞

＜問題点　→　考えられる改善策＞

（３）仮実験～本実験について

＜うまくいった点＞

＜問題点　→　考えられる改善策＞

（４）ポスター発表について

＜うまくいった点＞

＜問題点　→　考えられる改善策＞

１年（　　）組（　　・　　）班／２年（　　）組（　　）番　記録係氏名（　　　　　　　　　　）

［例：物理・１班］

第２学年　理型 AKC1　「１年理科課題研究の振り返り①」ワークシート２　　　　令和　年　月　日（　）

Ｑ２．自分達の発表用「ポスター」について、うまくいった点と問題点、それぞれについて
「自分自身」で考えられるだけ記入しましょう。

＜うまくいった点＞	＜問題点＞

Ｑ３．Ｑ２について、**「各実験班」**で意見交換しましょう。その際、問題点に対する改善策を具体的に記入しましょう。

＜うまくいった点＞	＜問題点　→　考えられる改善策＞

※　注意：1年次と同様、2年次も AKC の授業で使用したプリント等は、
すべて「AKC ファイル」に綴じて保存すること。

２年（　　）組（　　）番　氏名（　　　　　　　　　　　）

令和　年度　２年理型 AKC　課題（理科）

※　自分の課題研究分野に「○」をつけましょう。(　化学　・　物理　・　生物　)

Ｑ１.「何気ない日常生活」、「社会で話題になっていること」、「よく聞く言葉」、「書籍やインターネットで流れている情報」等々・・・

これらの中で、自分の課題研究分野に関して、興味をもてそうなもの、疑問に思うもの等を **「自分自身」** で考えられるだけ(ブレイン・ストーミング)挙げてください。

※　一見、課題研究になりそうもないものでも構わないので、自由に、独創的に、思いつく限り書きましょう。

令和　年　月　日（ ）

Ｑ２．Ｑ１で記入した中で、一番興味のある事柄・ワードを中心に置いた「マインドマップ」を作成してみましょう。

※　興味のある事柄・ワードが複数ある場合は、別の紙に一度下書きをして、一番課題研究のテーマになりそうなマインドマップを以下に記入してください。

２年（　　）組（　　）番　氏名（　　　　　　　　）

Ｑ３．Ｑ２で作成したマインドマップを元に、課題研究の論題（問い）を「５つ」立てましょう。
その際、様々な観点（信憑性・定義・時間など）から論題（問い）を立てましょう。

①

②

③

④

⑤

Ｑ４．Ｑ３で立てた各論題（問い）をテーマとして課題研究を行う上で、必要なもの（試薬・器具・かかる時間・費用等）および研究方法を以下に簡潔に記入ましょう。
その上で、検証困難だと判断した場合は、数字に「×」をつけましょう。　例. ②

①

②

③

④

⑤

令和　年　月　日（ ）

Ｑ５．Ｑ３、Ｑ４を参考に、あなたの「課題研究テーマ案」を一つ作成しましょう。そして、そのテーマに関連する事柄（関連するワードの定義や意味、先行研究等）について調べ、以下にまとめましょう。
※　書籍、インターネット、発表会要旨集等を活用してよいが、必ず「出典」を明記すること。

課題研究テーマ案：＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿＿

＜調べた事柄・内容（メモ）＞

＜課題研究テーマに関するまとめ（文章）＞

※「課題」(A3：1枚)を作成し、 月 日( )に各担任の先生へ提出すること。

→ **次回 AKC７（　月　日（　））で、課題研究テーマ案やまとめた内容を発表してもらう**ため、しっかりと準備をしておくこと。

２年（　　）組（　　）番　氏名（　　　　　　　　）

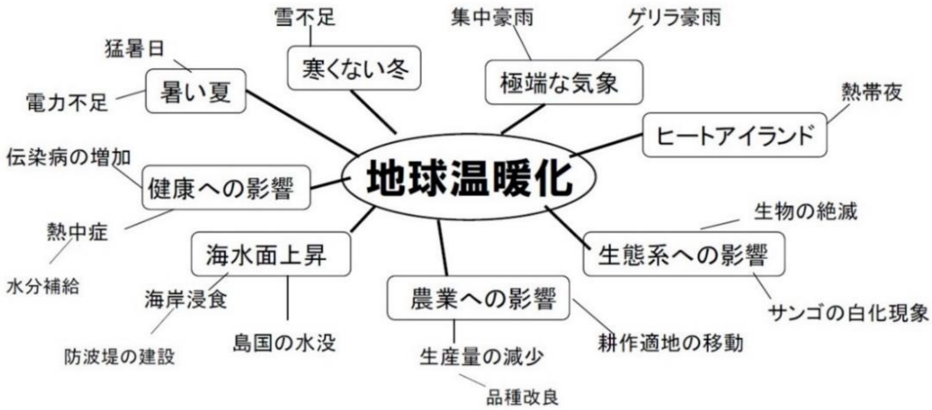
課題研究テーマを設定するには？

(1)　**ブレイン・ストーミング**（Brain Storming［脳が猛烈に動く］）でアイディアを集める。

(2)　**マインドマップ**で題材を定めて「視点」を探す。［AKC9 で説明済］

→　ひとつの言葉や事項から関連性のある言葉やキーワードを次々に連想して、イメージを広げる手法の一つである。

例.『地球温暖化』のマインドマップの例



作成上の注意点

①　題材をもとにして、次々と枝のように関連する言葉を周囲に書く。

※　言葉が思い浮かばないときは、周りの人と意見交換したり、関連する書籍の目次やネット等を利用したりする。

②　ひとつの見方ではなく、様々な視点・切り口を意識する。

※　「社会性」、「ユニークさ」、「データ」等の視点から考えてみるのもよい。

（３）　**論題（問い）**の見つけ方

例.『地球温暖化』の論題（問い）の例

観点	質　問	導かれる論題（問い）の例
信憑性	本当に？	地球温暖化は本当に起きているか
定義	どういう意味？	地球温暖化とは何か
時間	いつからいつまで？	いつから地球温暖化が始まったか
空間	どこで？	温暖化は地球全体で起きているのか
主体	誰？	誰が温暖化を引き起こしたか
経緯	いかにして？	地球温暖化はどのように進行しているか
様態	どのように？	地球温暖化の現状はどうなっているか
方法	どうやって？	どうやって地球温暖化を確かめたのか
因果	なぜ？	地球温暖化の原因はなにか
比較	他ではどうか？	他の惑星では温暖化は起きていないのか
特殊化	これについては？	日本における温暖化は
一般化	これだけか？	地球温暖化以外の気候変動は起きているか
限定	すべてそうなのか？	どの地域でも温暖化が起きているのか
当為	どうすべきか？	地球温暖化にどう対処すべきか

出典：千葉大学先進科学センター「理科課題研究ガイドブック第３版」

２年（　　）組（　　）番　氏名（　　　　　　　　　　）

令和　年度　第２学年理型 AKC　「理科課題研究」全体計画書

分野/クラス(〇を打つ)：　化学１　・　化学２　・　物理１　・　物理２　・　生物	（　　　）班

班長			班員					
組	番号	氏名	組	番号	氏名	組	番号	氏名

＜研究概要＞

①　課題研究テーマ(タイトル)	＜教員コメント欄＞
②　目的	
③　仮説	
④　必要物品・試薬　　※　可能な限り、自分達で用意すること。 ＜学校で用意してほしいもの＞	

⑤　研究計画（第１回～第５回の実験概要・見通し） 　※　方法（実験手順、使用する装置等）も書ける範囲で書く。	＜教員コメント欄＞
第１回	
第２回	
第３回	
第４回	
第５回	

※ 班長は、この用紙（全体計画書）を　月　日（　）までに担当教員に提出する。

文献・先行研究の調べ方

１．文献・先行研究の調査

（１）　ほとんどのアイデアは誰かが研究している。

（２）　調べないとテーマにできない。→「文献調査」は「基礎学習」の意味もある。

（３）　文献・先行研究をふまえていない研究は、大学・企業・研究機関等においては、認められない。

２．文献・先行研究の調べ方

（１）　書籍

先行研究の情報を得るというよりは、研究に関するまとまった「知識」を得るのに効果的である。

→　まとまった内容が系統立てて説明してある。

例．講談社「ブルーバックス」、「サイエンス・アイ新書」、「PHP サイエンス・ワールド」等

注意：必要な書籍を探すのが大変である。

（２）　インターネット

手軽に多くの「情報」を得ることができる。

→　言葉の意味、現象や法則の解説、論文検索、大学や研究機関の情報 等

注意：①　内容の信憑性は、保証できない。(Wikipedia 等)

②　情報が系統立ててまとまっていない。

→　研究論文の「引用文献」としては使用できない。

３．具体的な手立て

（１）　学校図書館の利用

①　司書さんに相談する。

→　どのようなテーマで、どのような分野で研究されているか、ある程度調べてから相談すること。

②　必要な書籍があるか、コンピューターで検索する。

（２）　公共図書館の利用

①　図書館の書籍を検索する。

例．「カーリル」：図書館の蔵書検索サイト

②　大学図書館を利用する。

→　専門的な論文は豊富にあるが、高校生などの学外者の利用については、HP 等で確認すること。

例．「CiNii(サイニィ) Articles」、「CiNii Books」：大学図書館の論文・書籍検索サイト

注意：有料サービスのものもある。

（３）　検索サイトの利用

①　「Google Scholar」：学術関連の論文や記事を検索できる。

②　「国立国会図書館サーチ」：国立国会図書館の資料以外に、公立図書館の蔵書・デジタル情報の検索ができる。

（４）　各種研究発表会の要旨集・論文集の利用

→　他校の課題研究、SSH 生徒研究発表会、日本学生科学賞、JSEC、化学グランドコンテスト 等

※　出典：理科課題研究ガイドブック(第３版)　小泉治彦著・千葉大学先進科学センター

課題研究における「実験データの分析①」

○　実験データの分析方法について、昨年扱った問題で復習しよう。

例．ある病気 X の患者を湯治したグループと湯治しなかったグループに分け、それぞれのグループについて、治癒したかどうかを調べた。表１～３のそれぞれについて、湯治はこの病気の治療に有効であると結論づけてよいでしょうか。

表１

	湯治した	湯治せず
治癒	999	999
治癒せず	1	1

表２

	湯治した	湯治せず
治癒	999	200
治癒せず	1	800

表３

	湯治した	湯治せず
治癒	100	1
治癒せず	900	999

表１の場合

病気 X は湯治に行く・行かないに関わらず、99.9％治癒する病気であるということがわかります。よって、湯治は病気 X の治療に有効とは言えません。

表２の場合

湯治に行かなかった患者は 20％が治癒し、湯治に行った患者は 99.9％治癒したということがわかります。よって、湯治は病気 X の治療に有効と言えそうです。

表３の場合

湯治に行って治癒した患者は 10％ですが、湯治に行かずに治癒した患者は 0.1％です。湯治に行った方が 100 倍の効果があるので、湯治は病気 X の治療に有効と言えそうです。

ここまでは、昨年の復習です。表２や表３では、湯治は病気 X の治療に明らかに有効だと言えそうですね。しかし、表４や表５のように、得られたデータに微妙な差しかない場合は、どうでしょうか。

表４

	湯治した	湯治せず
治癒	430	370
治癒せず	570	630

表５

	湯治した	湯治せず
治癒	420	380
治癒せず	580	620

表４も表５も湯治に行った場合の方が治癒した患者数が多いので、湯治に効果があると結論づけてよいのでしょうか。例えば、表４で湯治に行って治癒した 430 人と湯治に行かずに治癒した 370 人の差は、偶然かも知れません。科学的な実験においては、グループ間に生じた差が意味のある差（有意な差）であるか否かを、統計学的な検定を行うことによって検証します。その検定方法の一つが、「カイ２乗検定」です。

２年（　　）組（　　）番　氏名（　　　　　　　　　　）

カイ２乗検定の計算について

○　ワークシート１の表４を用いて、カイ２乗検定の計算をしてみよう。

1．「湯治したグループと湯治していないグループのデータに差が出ているのは偶然だ」と仮定すると、湯治の有無に関わらず治癒する割合は$\frac{800}{2000}$となる。【③，⑥，⑨】

2．「湯治の有無に関わらず一定の割合$\frac{800}{2000}$で治癒する」と考えた場合に予想される数（期待度数）を計算する。【⑩～⑬】

　計算例⑩　1000（湯治した人）×$\frac{800}{2000}$（治癒する割合）=400

3．実際に得られたデータ（観測度数）と期待度数とのズレの度合いを計算する。【⑭～⑰】

　計算例⑭　$\frac{(430-400)^2}{400}=\frac{900}{400}=2.25$

4．観測度数と期待度数とのズレの度合いの合計が、カイ２乗値となる。【⑱】

5．カイ２乗値が3.84よりも小さくなれば仮定は正しく、3.84よりも大きくなれば仮定は正しくないと判断する。

　カイ２乗値が大きすぎる、すなわち観測度数と期待度数のズレの度合いが大きすぎるときは、仮定が間違っていると判断する。統計学的には 3.84 を境界値として用いるのが一般的です。(3.84 は有意水準 5%、自由度１の値)

◎なぜ 3.84 なのか、有意水準や自由度とは何か、など疑問に思った人は図書館やインターネットで調べてみよう。

表４	湯治した	湯治せず	合計
治癒（観測度数）	① 430	② 370	③ 800
治癒せず（観測度数）	④ 570	⑤ 630	⑥ 1200
合計	⑦ 1000	⑧ 1000	⑨ 2000
治癒（期待度数）	⑩ ⑦×$\frac{③}{⑨}$	⑪ ⑧×$\frac{③}{⑨}$	
治癒せず（期待度数）	⑫ ⑦×$\frac{⑥}{⑨}$	⑬ ⑧×$\frac{⑥}{⑨}$	
治癒（期待度数とのズレ）	⑭ $(①-⑩)^2/⑩$	⑮ $(②-⑪)^2/⑪$	
治癒せず（期待度数とのズレ）	⑯ $(④-⑫)^2/⑫$	⑰ $(⑤-⑬)^2/⑬$	

カイ２乗値
⑱ ⑭＋⑮＋⑯＋⑰

【考察】

　表４では、カイ２乗値は計算すると 7.5 で、3.84 よりも大きい。つまり、統計学的には偏りが出たのは偶然ではないという結論になります。同様の計算をすると、表５では、カイ２乗値は 3.33 なので、統計学的には偶然偏りが出ただけという結論になります。表４と表５では、得られたデータは似通っていますが、統計学的には大きな違いがあると言えます。

【参考文献】

Web 教材「ハンバーガーショップで学ぶ楽しい統計学」　http://kogolab.chillout.jp/elearn/hamburger/

２年（　　）組（　　）番　氏名（　　　　　　　　　　）

課題研究における「実験データの分析②」

○ある物理量を測定するとき、測定値には測定誤差が含まれる。ここでは、誤差を含む測定値が計算結果にどのように影響するのかを考え、計算結果に誤差を含めて表記する方法を学習しよう。

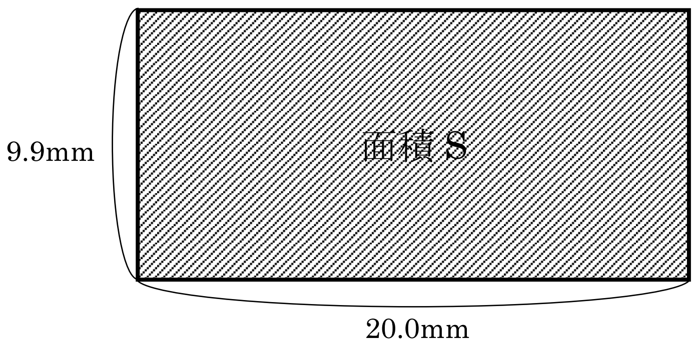
Ｑ１．定規を用いて、下の線分の長さを測定しよう。(0.1mm まで)

(　　　　　.　　　　)mm

測定誤差の基準

測定誤差をどの程度に設定するかについて明確な基準はない。１つの目安は、測定器具の最小目盛の 1/10 程度(最小目盛1 mm の定規であれば0.1 mm程度)である。ただし、状況に応じて変更してもよい。

Ｑ２．図の長方形の縦の測定値が 9.9mm、横の測定値が 20.0mm であるとき、面積 S にはどれだけの誤差があるだろうか、考えてみよう。



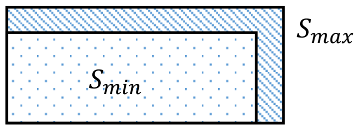
2 年（　　）組（　　）番　氏名（　　　　　　　　　　）

○　縦の長さを 9.9±0.1mm、横の長さを 20.0±0.1mm として、２つの方法で面積Ｓの誤差を計算しよう。

【方法１】縦と横の長さ（最大と最小）の組み合わせから、面積の最大と最小を計算する。

（面積の最大）＝（縦の最大）×（横の最大）　$S_{max} = 10.0 \times 20.1 = 201.0$

（面積の最小）＝（縦の最小）×（横の最小）　$S_{min} = \ 9.8 \times 19.9 = 195.02$



　方法１は多くの人が思いついたでしょう。しかし、縦や横の長さが同時に「測定値＋最大誤差」「測定値－最大誤差」になるのは、確率的にはまれである。したがって、実際の誤差はもう少し小さくとらえた方が良い。そこで、次のような計算方法もある。

【方法２】各測定値の誤差による計算結果への影響を別々に求めて、最後に合成する。

①　縦と横の測定値から、基準となる面積S_0を計算する。

$S_0 = (\text{縦の測定値}) \times (\text{横の測定値}) = 9.9 \times 20.0 = 198\text{mm}^2$

②　「縦の長さの誤差」による面積の誤差ΔS_1を計算する。（横の長さは測定値を用いて固定する）

$S_{1+} = (\text{縦の測定値＋最大誤差}) \times (\text{横の測定値}) = 10.0 \times 20.0 = 200\text{mm}^2$

基準値S_0からのずれ　$|S_{1+} - S_0| = |200 - 198| = 2\text{mm}^2$

$S_{1-} = (\text{縦の測定値} - \text{最大誤差}) \times (\text{横の測定値}) = \ 9.8 \times 20.0 = 196\text{mm}^2$

基準値S_0からのずれ　$|S_{1-} - S_0| = |196 - 198| = 2\text{mm}^2$

このうち大きい方を誤差ΔS_1として採用する。よって、$\Delta S_1 = 2\text{mm}^2$

③　「横の長さの誤差」による面積の誤差ΔS_2を計算する。（縦の長さは測定値を用いて固定する）

$S_{2+} = (\text{縦の測定値}) \times (\text{横の測定値＋最大誤差}) = 9.9 \times 20.1 = 198.99\text{mm}^2$

基準値S_0からのずれ　$|S_{2+} - S_0| = |198.99 - 198| = 0.99\text{mm}^2$

$S_{2-} = (\text{縦の測定値}) \times (\text{横の測定値} - \text{最小誤差}) = 9.9 \times 19.9 = 197.01\text{mm}^2$

基準値S_0からのずれ　$|S_{2-} - S_0| = |197.01 - 198| = 0.99\text{mm}^2$

このうち大きい方を誤差ΔS_2として採用する。よって、$\Delta S_2 = 0.99 \fallingdotseq 1\text{mm}^2$

④　②③を用いて、誤差ΔSは次の式（２乗和平方根）で計算する。

$\Delta S = \sqrt{(\Delta S_1)^2 + (\Delta S_2)^2} = \sqrt{2^2 + 1^2} = \sqrt{5} \fallingdotseq 2\text{mm}^2$　　（注）

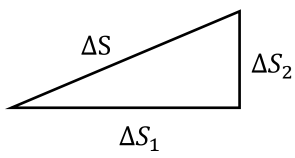
面積の計算結果は誤差を含めて$S = 198 \pm 2mm^2$と表記する。

（注）ΔS_1、ΔS_2は変数を１つに限定した時の最大誤差なので、ΔSの最大値は$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2$とするべきである。しかし、$\Delta S_1$、$\Delta S_2$がともに最大誤差になることはまれなので、実際の誤差ΔSは$\Delta S_1 + \Delta S_2$より小さくなるはずである。よって、誤差ΔSはある確率でこのぐらいの誤差で収まるという意味を考えて、２乗和平方根で計算する。

（右図参照）

２乗和平方根　$\Delta S = \sqrt{(\Delta S_1)^2 + (\Delta S_2)^2}$

標準偏差と同じ計算をしています。図形的には、三平方の定理ですね。



○　誤差を含めた計算方法では、**【方法２】**をさらに発展させて、微分（偏微分）を用いた方法もあります。参考資料を用いて、各自で学習しよう。

２年（　　）組（　　）番　氏名（　　　　　　　　　　）

「実験データの分析②」の参考資料（測定量の扱い方１）

ある物理量を測定するとき，測定値には測定誤差が含まれる。ここでは，”測定誤差の決め方”や”誤差を含む測定値が，それをもとに計算した計算結果（間接測定値）にどのように影響するのか”を考え，計算結果（間接測定値）に誤差を含めて表記する方法を学習する。

１．測定誤差（物理チャレンジ・国際物理オリンピックの基準による）

(1) 目盛を読み取る場合，最小目盛の 1/2 を測定誤差とする（ただし，状況に応じて変更してよい)。

ある物体の長さを最小目盛 1 mm の定規を使って測定する場合，測定誤差は 0.5 mm となる。ただし，これは上記科学コンテストの基準であり，課題研究においては，実際の状況に応じて変更すればよい。具体的な目安として，実際の測定誤差は，最小目盛の 1/10 程度(0.1 mm 程度)とすればよい。（この誤差で本当によいのか判断に迷うようであれば，測定誤差を増やす。）

(2) デジタル測定器の値を読み取る場合，最小桁の 1/2 を測定誤差とする。但し，一般家庭用の測定機器（料理用はかり等）を用いる場合，取扱説明書の誤差（一般的に誤差は大きい）の値を用いた方が良い。

２．誤差を含めた計算結果（間接測定値）の表し方【微分を使わない方法（一般的ではないが十分)】

ここでは，はじめに長方形の紙の縦と横の長さを測定して，その紙の面積を，誤差を含めて求める場合について考える。

例えば，最小目盛 1 mm の定規を使って測定した結果，縦の長さの測定値が 9.2 mm ，横の長さの測定値が20.6 mm であったとする。測定誤差を 0.2 mm とすると，測定結果は，縦の長さ 9.2 ± 0.2 mm，横の長さ 20.6 ± 0.2 mm となる（**図１**)。

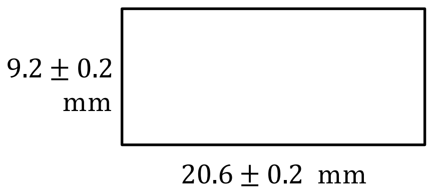


図１　測定結果

このとき，誤差を含めた面積 S は，どのように表されるであろうか。

(1) 数値を代入して見積もる方法１（考えられる全ての値を計算する方法）

誤差を含めた面積 S は，誤差を考えた縦の長さ（最大と最小）と横の長さ（最大と最小）の組合せにより，次のような値が考えられる。

① $S_1 = (9.2 + 0.2) \times (20.6 + 0.2) = 9.4 \times 20.8 = 195.52\ \mathrm{mm}^2$（考えられる最大面積）

② $S_2 = (9.2 + 0.2) \times (20.6 - 0.2) = 9.4 \times 20.4 = 191.76\ \mathrm{mm}^2$

③ $S_3 = (9.2 - 0.2) \times (20.6 + 0.2) = 9.0 \times 20.8 = 187.2\ \mathrm{mm}^2$

④ $S_4 = (9.2 - 0.2) \times (20.6 - 0.2) = 9.0 \times 20.4 = 183.6\ \mathrm{mm}^2$（考えられる最小面積）

このとき，面積が最大となるのは①の場合で，最小となるのは④の場合である（**図２**)。

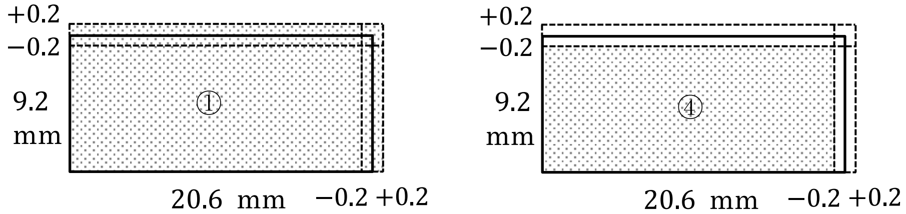


図２　考えられる最大面積と最小面積

また，誤差を考えないときの面積は，$S_0 = 9.2 \times 20.6 = 189.52\ \mathrm{mm}^2$ である。

※　これまでは「縦の測定値の有効数字は２桁，横の測定値の有効数字は３桁なので，S_0 の有効数字は粗い方を採用して２桁」としてきたが，ここでは誤差の計算結果によりを有効数字が決まる。

続いて，＋の誤差は，考えられる最大面積となる①を用いて，

$S_1 - S_0 = 6\ \mathrm{mm}^2$

※　誤差の有効数字は基本１桁とするため，この値のままでよい。

また，－の誤差は，考えられる最小面積となる④を用いて，

$S_4 - S_0 = -5.92\ \mathrm{mm}^2 \fallingdotseq -6\ \mathrm{mm}^2 = -0.06 \times 10^2\ \mathrm{mm}^2$

※　誤差の有効数字は基本１桁とするため，小数第一位を四捨五入した。

よって，面積の測定結果（計算結果）は，一の位に誤差が入るので，S_0 は小数第一位を四捨五入して，　$\boldsymbol{S = 190 \pm 6\ \mathrm{mm}^2 = (1.90 \pm 0.06) \times 10^2\ \mathrm{mm}^2}$ となる。

なお，$+$ の誤差の大きさと$-$ の誤差の大きさが異なる場合，大きい方を採用して $\pm$□ とすれば良い。また，$+$ と$-$ の誤差の大きさを別々に表したいとき，$\circ^{+\square}_{-\triangle}$のように表すこともある。

誤差の組合せを選び，計算結果が最大となる場合と最小となる場合を求め，計算結果の誤差がより大きい方を採用する。

(2) 数値を代入して見積もる方法２（計算結果への影響を別々に計算して合成する方法）

(1)の方法では，変数（誤差を考える測定値）が n 個あるとき，計算結果の最大値と最小値を見つけるために，2^n 通りの場合を考えないといけないため大変である。（最大・最小になる場合が簡単に分かる場合は，２回の計算でよいが，いつも簡単に見つかるとは限らない。）

そのため，我々は一般的に，**「各測定値の誤差が，計算結果にどのくらい影響があるのかを別々に求めて，それらを最後に合成する。」**という方法で誤差を求めている。

例えば，「縦の長さの誤差」による面積への影響を評価するとき，「横の長さの誤差」は考えずに計算をする。誤差を考えた縦の長さ（最大と最小）より，

①　$S_{1+} = (9.2 + 0.2) \times 20.6 = 9.4 \times 20.6 = 193.64\ \mathrm{mm}^2$

②　$S_{1-} = (9.2 - 0.2) \times 20.6 = 9.0 \times 20.6 = 185.4\ \mathrm{mm}^2$

よって，縦の長さの誤差による（横の長さを固定した場合の）面積の誤差 ΔS_1 は，

$|S_{1+} - S_0| = 4.12$，$|S_{1-} - S_0| = 4.12$ より，$\Delta S_1 = 4.12\ \mathrm{mm}^2$（値が異なる場合は，大きい方を採用する。）

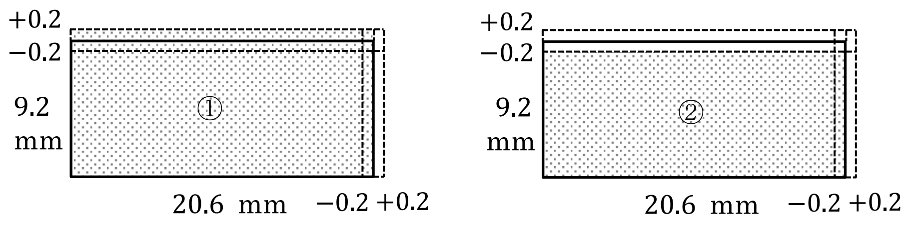


図３　縦の長さの誤差による影響（横の長さは固定）

次に，「横の長さの誤差」による面積への影響を評価するために，「縦の長さの誤差」は考えずに計算をする。誤差を考えた横の長さ（最大と最小）より，

③　$S_{2+} = 9.2 \times (20.6 + 0.2) = 9.2 \times 20.8 = 191.36\,\mathrm{mm}^2$

④　$S_{2-} = 9.2 \times (20.6 - 0.2) = 9.2 \times 20.4 = 187.68\,\mathrm{mm}^2$

よって，横の長さの誤差による（横の長さを固定した場合の）面積の誤差 ΔS_2 は，
$|S_{2+} - S_0| = 1.84$，$|S_{2-} - S_0| = 1.84$ より，$\Delta S_1 = 1.84\,\mathrm{mm}^2$（値が異なる場合は，大きい方を採用する。）

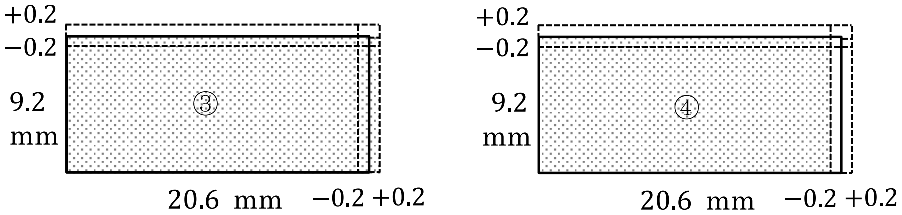


図４　横の長さの誤差による影響（縦の長さは固定）

面積の誤差 ΔS は，ΔS_1 と ΔS_2 を加えて，$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2$ とする方法もあるが（この方法は(1)と同じくらいの誤差が求められる），一般的に誤差は**２乗和平方根**（$\Delta S = \sqrt{(\Delta S_1)^2 + (\Delta S_2)^2}$ ）で計算する。誤差は，考えられる最大値と最小値で表すのであれば，$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2$ とするべきであるが，確率的には値が最大値や最小値になることはまれであるので，ある確率でこの位の誤差で収まるという意味から，**２乗和平方根**（$\Delta S = \sqrt{(\Delta S_1)^2 + (\Delta S_2)^2}$ ）で計算するのである。

よって，面積の誤差 ΔS は，ΔS_1 と ΔS_2 の**２乗和平方根**を計算して，

$$\Delta S = \sqrt{(\Delta S_1)^2 + (\Delta S_2)^2} = \sqrt{4.12^2 + 1.84^2} = \sqrt{20.36} = 4.51 \cdots \fallingdotseq 5\,\mathrm{mm}^2$$

面積の測定結果（計算結果）は，$\boldsymbol{S = 190 \pm 5\,\mathrm{mm}^2 = (1.90 \pm 0.05) \times 10^2\,\mathrm{mm}^2}$ となる。

各測定値の誤差が，計算結果にどのくらい影響があるのかを別々に求めて，２乗和平方根で合成する。

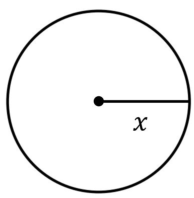
３．誤差を含めた計算結果（間接測定値）の表し方【微分を使う方法（一般的な方法)】

(1)　微分を使う方法１（求めたい値が１変数で表される場合）

次に計算結果の誤差を求める一般的な方法を説明する。

ここでは，円形の紙の半径を測定して，その紙の面積を，誤差を含めて求める場合について考える。

例えば，半径の測定値 x が $12.0 \pm 0.5\,\mathrm{mm}$ であったとする（**図５**)。誤差を含めた面積 S は，どのように表されるであろうか。



$x = 12.0 \pm 0.5\ \ \mathrm{mm}$

図５

まずは，２(1)のように求めてみよう。$S(x) = \pi x^2$ と表されるので，誤差を考えないときの面積は,

$S(12.0) = \pi \cdot 12.0^2 \fallingdotseq 3.142 \cdot 12.0^2 \fallingdotseq 452.4 = 452\,\mathrm{mm}^2$ である。

※　π (無理数)については，計算している式の有効数字+1 桁とすれば良いので，3.142 とした。（誤差を考えない）仮の計算結果は，計算している式の有効数字で示せば

良いが，後に$S(12.0)$の値を使って他の値を計算する時は，有効数字+1 桁とした値を使いたいので，有効数字+1 桁の結果も残しておく。

以上より，＋の誤差は，考えられる最大面積となる場合を考えて，

$$S(x+\Delta x)-S(x)=S(12.0+0.5)-S(12.0)=490.9-452.4=38.5 \fallingdotseq 40\ \mathrm{mm}^2$$

※　誤差の有効数字は基本 1 桁とするため，一の位を四捨五入した。

続けて，－の誤差は，考えられる最小面積となる場合を考えて，

$$S(x-\Delta x)-S(x)=S(12.0-0.5)-S(12.0)=416.9-452.4=-35.5 \fallingdotseq -40\ \mathrm{mm}^2$$

よって，面積の測定結果（計算結果）は，$\boldsymbol{S=450\pm 40\ \mathrm{mm}^2=(4.5\pm 0.4)\times 10^2\ \mathrm{mm}^2}$ となる。

では, 次に一般的な方法を考える。**図６**のように，$|S(x+\Delta x)-S(x)|$ と $|S(x-\Delta x)-S(x)|$ は，$\left|\frac{\mathrm{d}S(x)}{\mathrm{d}x}\cdot\Delta x\right|$ で近似できそうである。

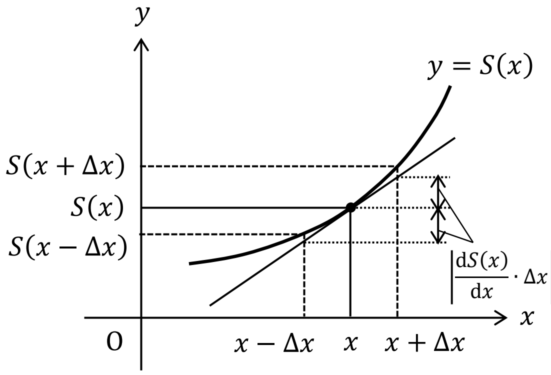


図６

今回は $\frac{\mathrm{d}S(x)}{\mathrm{d}x}=2\pi x$ なので，面積の誤差 ΔS は，数値を代入して，

$$\left|\frac{\mathrm{d}S(x)}{\mathrm{d}x}\cdot\Delta x\right|=|2\cdot 3.1\cdot 12.0\cdot 0.5|=37.2 \fallingdotseq 40\ \mathrm{mm}^2$$

※　0.5 の有効数字が 1 桁なので，π は 3.1 （有効数字２桁）で十分である。

よって，面積の測定結果（計算結果）は，$\boldsymbol{S=450\pm 40\ \mathrm{mm}^2=(4.5\pm 0.4)\times 10^2\ \mathrm{mm}^2}$ となる。

> ある量 y が 1 個の変数(x)で表され，測定した x に Δx の誤差があるとき，y の誤差 Δy は $\Delta y=\left|\frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}x}\right|\Delta x$ と表される。

⑵ 微分を使う方法２（求めたい値が２変数以上で表される場合）

> ある量 y が，n 個の変数（$x_1, x_2, \dots, x_n$）で表され，それぞれ測定した x_i に Δx_i の誤差があるとき，y の誤差 Δy は次式で計算できる。
>
> $$\Delta y=\sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial x_1}\Delta x_1\right)^2+\left(\frac{\partial y}{\partial x_2}\Delta x_2\right)^2+\cdots+\left(\frac{\partial y}{\partial x_n}\Delta x_n\right)^2}$$

$\frac{\partial y}{\partial x_i}$ は x_i 以外の変数を固定して，x_i で微分して得られる導関数（偏導関数という）を表している。このような操作（x_i 以外の変数を固定して，x_i で微分する操作）を**偏微分**とよぶ。

なお，記号 ∂ は”デル”や”ラウンドディー”等，様々な読み方がされている。”デル”と読むのであれば，$\frac{\partial y}{\partial x_i}$ は”デル　ワイ　デル　エックスアイ”と読む。

参考文献　オリンピック問題で学ぶ世界水準の物理入門, 物理チャレンジ・オリンピック日本委員会, 丸善株式会社

「実験データの分析②」の参考資料（測定量の扱い方２）

ある物理量を何度も測定するとき，測定値がばらつくことがある。ここでは，測定値のばらつきを評価し，測定値に不確かさ（誤差）を含めて表記する方法を学習する。

１．誤差・不確かさ

ある物理量 X の真の値(true value)を x_0 とすると，**誤差** ε は，測定値 x と x_0 の差で定義される。

$$\varepsilon = x - x_0$$

しかし，試行回数（測定回数）は有限であるため，**真の値は完全には求められない。**

一方，不確かさ(uncertainty) Δx は，得られた値 x の曖昧さの程度を表すもので，我々は物理量 X の測定結果を，以下のように表す。(このプリントでは，統計学的に Δx を求める方法を学習する。)

$$X = x \pm \Delta x$$

繰り返しになるが，**誤差**は，**測定値**と**真の値**の差であり，**誤差**と**不確かさ**は異なるものである。しかし，**誤差**と**不確かさ**のどちらも「誤差」と呼んでいる場合もある。（我々も違いがあると認識した上で，「誤差」と表現すればよい。「測定量の扱い方１」でも，不確かさを誤差と呼んでいる。）

２．数学の授業の復習

平均：データの合計値をデータの個数で割ったもの

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_n}{n} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$$

分散：平均値を中心として，データがどのくらいばらついているのかを示した数値

$$s^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2$$

標準偏差(standard deviation：SD)：分散の平方根をとったもの（**分布の広がりを表す**）

$$s = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}$$

〔発展的な内容〕

不確かさの原因が確率的変動による場合，測定値は真の値（無限回測定したときの x に対する期待値）x_0 のまわりに**ガウス分布**に従って分布する。ガウス分布の**標準偏差** σ は以下の式で与えられる。

$$\sigma = \lim_{n\to\infty}\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - x_0)^2}$$

ガウス分布は x_0 のまわりに対称であり，$x_0 \pm \sigma$ で囲まれる面積は全面積の約 68%，$x_0 \pm 2\sigma$ で囲まれる面積は全面積の約 95%である。

つまり，**不確かさの原因が確率的変動による場合**，測定を繰り返せば，測定値のうち約 68%が $x_0 \pm \sigma$ の範囲に，約 95%が，$x_0 \pm 2\sigma$ の範囲に含まれると期待される。

３．データの処理の実際（不確かさを確率的に扱えると仮定する）

同じ条件下で物理量 X の測定を繰り返し行うとき，測定値 x_1，x_2，⋯，x_n は，平均値

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i$$

のまわりに分布する。その分布の広がりは**実験標準偏差**

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}$$

で表される。つまり，X の測定値 x_1，x_2，⋯，x_n はそれぞれ，

$$\Delta x_k = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} \qquad (k = 1,2,\cdots,n)$$

の不確かさをもつといえる。分母が $n-1$ になっているのは，s が実際に測定した n 個のデータの分布の標準偏差ではなく，無限回測定したときの測定値の分布の標準偏差（推定値）とするためである。

n 個の測定値はそれぞれ Δx_k の不確かさ（信頼度約 68%）をもっており，平均値 $\bar{x}$ の不確かさ $\Delta\bar{x}$ は不確かさの伝播則により，次式で与えられる。

$$\Delta\bar{x} = \frac{\Delta x_k}{\sqrt{n}}$$

これは，測定回数 n を増やすことによって，不確かさ $\Delta\bar{x}$ を小さくすることができることを意味している。

繰り返し測定を行って得られた結果は，<u>測定値の平均値を実験値，平均値の実験標準偏差を不確かさとして，以下のように書くことができる。</u>

$X = \bar{x} \pm \Delta\bar{x}$　（実験値）±（不確かさ）単位　（信頼度は約 68%）

4．計算例

ある実験で，右図のデータを得た場合，

測定番号	速さ〔m/s〕
1	1.79
2	1.72
3	1.84
4	1.70
5	1.67
6	1.74
7	1.60
8	1.67
9	1.71
10	1.68

速さの平均値 $\bar{x}$ は，

$$\bar{x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i = 1.712$$

平均値 $\bar{x}$ の不確かさ $\Delta\bar{x}$ は，

$$\Delta\bar{x} = \frac{\Delta x_k}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2} = 0.021\cdots \fallingdotseq 0.02$$

（不確かさの有効数字は 1 桁）

よって，測定した速さ v は（平均値を不確かさの桁まで残して四捨五入して），

$$v = 1.71 \pm 0.02 \text{ m/s}$$

と表すことができる。

令和　年度　第２学年理型 AKC　「理科課題研究」中間報告シート

分野/クラス(○を打つ)：　化学１・化学２・物理１・物理２・生物								( )班
班長			班員					
組	番号	氏名	組	番号	氏名	組	番号	氏名

＜実験の中間報告＞

① 課題研究テーマ（タイトル）

② 目的

③ 仮説

④ 方法

⑤　結果
⑥　考察

次回の実験について

⑦　学校で用意してほしい物品に追加があれば記入してください

※ 班長は、この用紙を　月　日（　）までに　　　（　　室）に提出してください。

課題研究論文の書き方

１．基本体裁

Teams にアップロードされているファイルをダウンロードして使用（以下その内容）

①　ファイル形式　：　.doc 形式および.docx 形式（他のファイル形式は不可）
　　　　　　　　　　ファイル名：論文(○○◎－◎班)　例：論文(化学１－１班) "—"は全角ハイフン

②　分量　：　A4 サイズ４枚

③　ページ設定　：　余白上下 15mm、左右 20mm、文字数 40、行数 44

④　フォント　：　游明朝

⑤　英数字　：　半角

⑥　ページ番号　：　フッターとして挿入（下からのフッター位置 0mm）

⑦　段落　：　ホーム→段落→間隔→「１ページの行数を指定時に文字を行グリッド線に合わせる」のチェックを外す。

２．様式

課題研究テーマ(14 ポイント、太字、中央揃え)

(1 行空ける)

(分野・班)：(10.5 ポイント）（例：化学１－１班　"—"は全角ハイフン)

(班　　長)：

(班　　員)：(複数の場合は、氏名間を全角スペースにして、横書きにし、最大２行以内とする。)

(1 行空ける)

要約　(10.5 ポイント、太字、中央揃え)

(1 行空ける)

(要約本文：10.5 ポイント、英数字：半角)

要約

(1 行空ける)

１．研究の背景と目的（11 ポイント、太字、全角、左寄せ）

(10.5 ポイント、英数字：半角)

(1 行空ける)

２．仮説（11 ポイント、太字、全角、左寄せ）

(10.5 ポイント、英数字：半角)

(1 行空ける)

３．方法（11 ポイント、太字、全角、左寄せ）

(英数字：半角)

(1 行空ける)

４．結果（11 ポイント、太字、全角、左寄せ）

(10.5 ポイント、英数字：半角)

(1 行空ける)

５．考察（11 ポイント、太字、全角、左寄せ）

(10.5 ポイント、英数字：半角)

(1 行空ける)

６．今後の展望（11 ポイント、太字、全角、左寄せ）

(10.5 ポイント、英数字：半角)

本文

(1 行空ける)

７．引用・参考文献（11 ポイント、太字、全角、左寄せ）

(10.5 ポイント、英数字：半角)

1

３．論文作成の注意事項

この資料には「論文の書き方」の要点が示してあります。論文の構成、論文を書くときのルール、相手に伝えやすい表現方法についてまとめてあります。課題研究の成果をまとめるにあたって参考にしてください。

1. 論文の構成

論文は、「要旨」や「日本語ポスター」よりも詳しい情報を加筆して作成しましょう。「要旨」や「日本語ポスター」にはなかった、"要約（Abstract）"、"引用・参考文献" の項目を加えてください。また、「要旨」では追加資料として図、表などを提出してもらいましたが、これらは本文中に組み込んでください。必要があれば、謝辞の項目も加えましょう。

表１　日本語ポスターと論文の項目の比較

日本語ポスターの構成	論文の構成
課題研究テーマ 分野・班 班員の組・番・氏名 1. 研究の背景と目的 2. 仮説 3. 方法 4. 結果 ← 5. 考察 ← 6. 今後の展望 追加資料 （追加資料としていた表や図は、本文中に組み込む。）	課題研究テーマ 分野・班 班員の組・番・氏名 **要約（Abstract）** 1. 研究の背景と目的 2. 仮説 3. 方法 ← 4. 結果 ← 5. 考察 6. 今後の展望 ← （必要があれば）謝辞 **7. 引用・参考文献** （追加資料としていた表や図は、本文中に組み込む。）

論文を書くにあたって、参考にしてほしい資料は「理科課題研究ガイドブック　第３版[1]」です。PDF が公開されているので各自ダウンロードして、タブレットなどで閲覧できるようにしておくとよいでしょう。なお、論文の構成にはいろんなバリエーションがあります。上記の形式では書きにくい場合は、指導担当の先生に相談してください。

2. 論文を書くときのルール

(1)　要約（Abstract）を書く。

要約（Abstract）とは、論文全体の内容を要約したものです。要約は、読み手がテーマと著者名の次に最初に読む文章ですから、きちんと書けていれば論文全体を読む気にさせることができます。

したがって、要約には目的、方法、結果、考察までを全て含む必要があります。ときどき、要約を「研究の背景」「目的」と混同している論文が見られますが、そうならないようにしましょう。

要約は 200～400 字程度が読みやすいでしょう。目的、方法、結果、考察をそれぞれ１文で表し、4 文で構成するのが分かりやすいでしょう。4 文でまとめきれない場合は、必要に応じて文を増やすとよいでしょう。

要約を英語でも書いておくことをお勧めします。英語で書くと世界に向けて研究成果を発信でき、論理がすっきりして短い文章で相手に伝えやすくもなるはずです。

(2)　表と図にそれぞれ通し番号とキャプション（説明文、見出し）をつける。

表と図にそれぞれ通し番号とキャプションをつけましょう。写真は図として扱います。一般的なレイアウトは以下の通りです。

表の番号とキャプション　：　表の上で左寄せする。
図の番号とキャプション　：　図の下で中央寄せする。

表２　初期角と周期の関係

	周期[s]
0.2 rad	2.01 ± 0.01
0.4 rad	2.00 ± 0.01
0.6 rad	2.03 ± 0.04
0.8 rad	2.06 ± 0.05
1.0 rad	2.08 ± 0.04

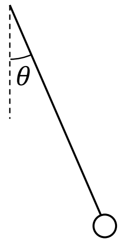


図１　振り子の角度

図２　振り子の支点

(3)　**引用・参考文献を書く。**

引用・参考文献は、以下のように書きましょう。

学術雑誌の論文を引用する場合　：　著者名、出版年、題名、学術雑誌名、巻号、ページ

例：新海徳則（2007）：微分方程式を軸とした学校設定教科への取り組み、物理教育、55(4)、312-315

本を引用する場合　：　著者名、出版年、書名、出版社名

例：小笠原喜康、片岡則夫（2019）「中高生からの論文入門」講談社現代新書

Web ページを引用する場合　：　サイト名、URL

例：愛知県立岡崎高等学校公式ホームページ　http://www.okazaki-h.aichi-c.ed.jp/

論文中での引用の方法には、発行年で文献を指定する方法と、番号で指定する方法があります。どちらでも構いません。

発行年で文献を指定する方法

例：「新海（2007）によると･･･」「･･･（引用文）･･･（新海 2007）」として、文献リストに記載する。

番号で指定する方法

例：「小泉[1)]によると･･･」「･･･（引用文）･･･。[1)]」として、文献リストに「1) 小泉･･･」と記載する。

Web ページを引用・参考文献にしたい場合は、Wikipedia や個人のホームページ等は利用してはいけません。公共機関や大学、研究所等のものだけにしましょう。

引用・参考文献の書き方についての詳しい情報は、「参考文献の役割と書き方　科学技術情報流通技術基準（SIST）の活用[2)]」「科学技術情報流通技術基準　参照文献の書き方　SIST 02－2007[3)]」から得ることができます。これらも PDF が公開されているので各自ダウンロードして、スマートフォンなどで閲覧できるようにしておくとよいでしょう。

3. パラグラフ・ライティングで書く

論文は、パラグラフ・ライティングで書きましょう。

パラグラフ・ライティングとは、一つの伝えたい内容（トピック）で一つのパラグラフを構成し、その冒頭にその要約文（トピックセンテンス）を配置する書き方です[4)]。パラグラフ・ライティングで書かれた文章は、そうでない文章と比べて、論理の伝わりやすさが全く違います。また、各パラグラフの冒頭の一文だけを抜き出して飛ばし読みしても意味が通じるのが、パラグラフ・ライティングの特徴の一つです。

パラグラフ・ライティングができていれば、上述の要約は、目的、方法、結果、考察のそれぞれの冒頭の一文を抜き出して作成することができます。

ところで、この資料はパラグラフ・ライティングで書いています。試しに、各パラグラフの冒頭の一文だけ抜き出して飛ばし読みしてみてください。最小限の意味は通じるはずです。

4. チェックリスト

これまでに学習したことのうち、論文を書くにあたって再確認してほしいことを、以下に挙げます。チェックリストの空欄部分には、各自で必要なチェック項目を考えて、追加してください。

【この資料で示したポイント】

- □　表と図に通し番号とキャプションをつけている。
- □　引用・参考文献をルールにしたがって書いている。
- □　Wikipedia 等を引用していない。
- □　「要約」に目的、方法、結果、考察まで書いている。
- □
- □

【要旨下書きや日本語ポスター作成時のポイント】

- □ 「研究の背景と目的」を「動機」と混同していない。
- □ 根拠を示した上で「仮説」を書いている。
- □ 具体的に「方法」を書いている。
  → 日本語ポスターではここを短くまとめる必要がありましたが、論文ではより具体的に書いてください。読み手が、論文を読むことでその研究を再現できるように書くことを目標にしましょう。必要に応じて図などを活用してください。
- □ 「結果」と「考察」を分けて書いている。
- □ パラグラフ・ライティングで書いている。
- □
- □

【その他】

- □ データを改ざんしたり捏造したり無断転載したりしてしない。
- □ 客観的な事実と自分の意見を明確に区別し、事実の説明に主観が入っていない。
- □ はっきり言い切っている。
  「〜であろう」「〜と思われる」などの曖昧な表現は論文には不適切です。
- □ 「だ・である調」で書いている。
  「です・ます調」は論文には不適切です。
- □
- □

5. 参考文献

1) 小泉治彦（2015）「理科課題研究ガイドブック第３版　－どうやって進めるか、どうやってまとめるか－」千葉大学先進科学センター、53-59.
https://www.cfs.chiba-u.ac.jp/outline/publication/201501/guidebook3_2.pdf、（参照 2019-03-05）.
2) 国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）（2011）「参考文献の役割と書き方　科学技術情報流通技術基準（SIST）の活用」
https://jipsti.jst.go.jp/sist/pdf/SIST_booklet2011.pdf（参照 2019-03-05）.
3) 国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）（2007）「科学技術情報流通技術基準　参照文献の書き方　SIST 02 – 2007」
https://jipsti.jst.go.jp/sist/pdf/SIST02-2007.pdf（参照 2019-03-05）.
4) 倉島保美（2012）「論理が伝わる世界標準の「書く技術」　－「パラグラフ・ライティング」入門－」講談社ブルーバックス