

ICTを併用した物理実験における「効果の評価」の活動を通して「主体的に学習に取り組む態度」の促進を試みる

理科（物理） 朝 倉 彬

1. はじめに

2022年度より適用される高等学校学習指導要領（平成30年告示）解説【理科編理数編】の第2節「物理基礎」および第3節「物理」では、実験の観測手法の1つとして「センサ」や「ビデオカメラ」を利用することを推奨しており、「内容の取扱いに当たっての配慮事項」では「コンピュータなどの活用」が唱えられ、文章中にも様々な表現で利用を促す文言が多くある。さらに、大学入試センター平成30年度試行調査（プレテスト）問題では力センサーに関する記載や、令和3年大学入学共通テスト「物理基礎」ではスマートフォンを用いた加速度の測定結果を用いた問題を作成するなど、理科の実験においてICTを用いて行う実験や授業は不可欠となっていることが明らかである。一方で、OECDのStudents, Computers and Learningのレポート（2015）では、ICTに大きな投資をした国でのPISAでの読解力、数的リテラシー、科学的リテラシーの成績に目立った向上は見られないという結果が得られていると報告された。しかし、デジタル能力の調査とペーパー版読解力テストの成績順位は非常に相関が高く、韓国やシンガポールではオンライン版のテスト調査の方がペーパー版よりもはるかに良い成績である報告もされており、適切なICTの利用を促すことにより効力を発揮することも窺える。

本論では、今後利用が必須とされるICTをどのように活用することを生徒自身が考え、評価することで、物理への理解の増幅や、新たな学習の観点になる学習の振り返りや探究力の養成で構成される「主体的に学習に取り組む態度」の促進を試み、検証した点を報告する。

2. 実験について

2.1. 実験概要

本校では、物理基礎を2年次に全員必修としている。最初の単元である力学の加速度の実験「等加速度直線運動」において、力学台車を各グループで設定した坂道を下る時間と距離を測定し、そこから速度および加速度を定量的に算出するものである。この定量的測定の実験を2つのパターンで行った。1つは中学時に多くの生徒が経験している記録タイマーを用いて記録テープに打点を打たせて記録したのから読み取るもの、もう1つは力学台車の軌道を動画として撮影し、その動画を解析して読み取るというものである。

実験について4人1組で行い、各自必ず「記録テープ」と「動画」のそれぞれの解析を行うように設定した。そのため作業プリントには、必ず自分が測定した担当の記

【処理のまとめ】各メンバーのデータもまとめておくこと

角度 $\theta =$		角度 $\theta =$	
記録タイマー	1	[m/s ²]	[m/s ²]
	2	[m/s ²]	[m/s ²]
動画	1	[m/s ²]	[m/s ²]
	2	[m/s ²]	[m/s ²]
平均 (4回測定)		[m/s ²]	[m/s ²]

○角度を変えて、加速度を測定したらどのような関係があるか？

○他のグループの結果を合わせるとどのような法則が成り立ちそうか？

○測定機器の違いについて・・・それぞれの項目について評価してください。

測定の正確さ (「正確に測定できそう」「工夫をすれば正確に測定できる」も含む)

記録タイマー	◎・○・△・×	動画	◎・○・△・×
--------	---------	----	---------

比較対象や評価理由:

記録タイマー	◎・○・△・×	動画	◎・○・△・×
--------	---------	----	---------

処理のしやすさ (面倒な点が少ない、ミスが少なくできる、早く処理できる)

記録タイマー	◎・○・△・×	動画	◎・○・△・×
--------	---------	----	---------

比較対象や評価理由:

記録タイマー	◎・○・△・×	動画	◎・○・△・×
--------	---------	----	---------

教育的効果の高さ (理解がより深まる、中学生でも理解しやすい、思い出しやすい)

記録タイマー	◎・○・△・×	動画	◎・○・△・×
--------	---------	----	---------

比較対象や評価理由:

記録タイマー	◎・○・△・×	動画	◎・○・△・×
--------	---------	----	---------

その他 (上記3つの項目以外の評価、どんな評価基準かを記入してください)

記録タイマー	◎・○・△・×	動画	◎・○・△・×
--------	---------	----	---------

評価基準と比較状況:

メンバー:

実験① 等加速度直線運動

【目的】等加速度直線運動を実験に測定してみる (今回は2種類の機器で測定する)

【準備】力学台車、記録タイマー、撮影装置 (今回はiPad)、映像解析機器 (PC、QT)、紙、分度器、線きを変える物、メジャー、竹くし、セロテープ、はさみ、定規

【方法】



1. 図のような装置を作成し、分度器で θ を測定する。測定後、動かないように手で押さえる。
2. 「記録タイマー」を用いて、記録テープと力学台車を付け、台の上から静かに手を放す。記録タイマーは手で押さえるなりして動かないように注意する。
この操作を2回行う。
3. 同じ角度のまま、今度はメジャーを板に沿わせ、図のように力学台車に竹串を垂直につける。
4. 2と同様に静かに力学台車から手を放し、iPadで動画を記録する。撮影は真上からメジャーの目盛りが読み取れるように (50-60cm くらい入れればよい) して撮影中はiPadを動かさないように注意する。この操作を2回行う。
5. 角度を変えて1.~4.の操作を行う。
→記録タイマー (2つの角度×2) 4回、動画撮影 (2つの角度×2) 4回、計8回



【処理】※それぞれ記録テープと動画を1つずつ処理する

- 記録テープ
- ・点として記録できることから、5打点間隔ごとに切り【作業シート】に貼っていく。
 - ・このグループは...が...なので傾きから加速度を求めることができる。と、同時に変位 (移動距離) が面積になるということも明確にわかる。
 - ・記録テープの各長さを読み取り (小数第1位まで)、加速度を求める。

○動画

- ・動画をPCに取り込んでどの動画を処理するのかわかるようにリネームをする。
 - ・Quick Timeで動画を開き、「時間」を「フレーム (F) カウント」にする。
 - ・3フレーム=0.1秒なので、画面上から各位置の数を読み取り、加速度を求める。
- それぞれの処理は、【作業シート】を用いて記録・処理をする。

図1 等加速度直線運動実験プリント (1枚目)

録テープと動画から読み取った数値が記録されていることになる。「記録テープ」は5打点間隔ごとに切り取り、それを横に並べて貼付することで、いわゆる $v-t$ グラフの形状を表現できる。一方動画は30fpsで撮影したものをパソコンに読み込ませ、フレームごとに再生できるアプリケーションを用いて3フレームごとに力学台車の位置を読み取った。

この実験は、等加速度直線運動や重力加速度および重力を学習した上で行っている実験のため、物理学の学習からすると確認実験に相当する状況である。そのため、測定値を求めるもののある程度理論を理解している上で行っている。この実験は測定と解析の途中までで1単位時間、解析の続きやまとめに1単位時間を充当して行った。最後の記述について終了していない生徒については後日実験プリントを提出してもらった。実験の概要や記述内容は図1に示す通りである。本論の内容は、2017年度と2018年度2学年であった生徒に実施した実験の結果をまとめている。

2.2. 実験結果

本論の主たる目的ではないが、2017年度の実験結果のグラフを図2に示す。このグラフは全クラスの測定値をまとめたものである。各点がグループごとに測定した加速度と角度の関係である。各グループで設定した坂道の角度は、グループごとに小さい角度(2°)から大きめの角度(10°)をある程度指示し、その中で設定できた値で実験

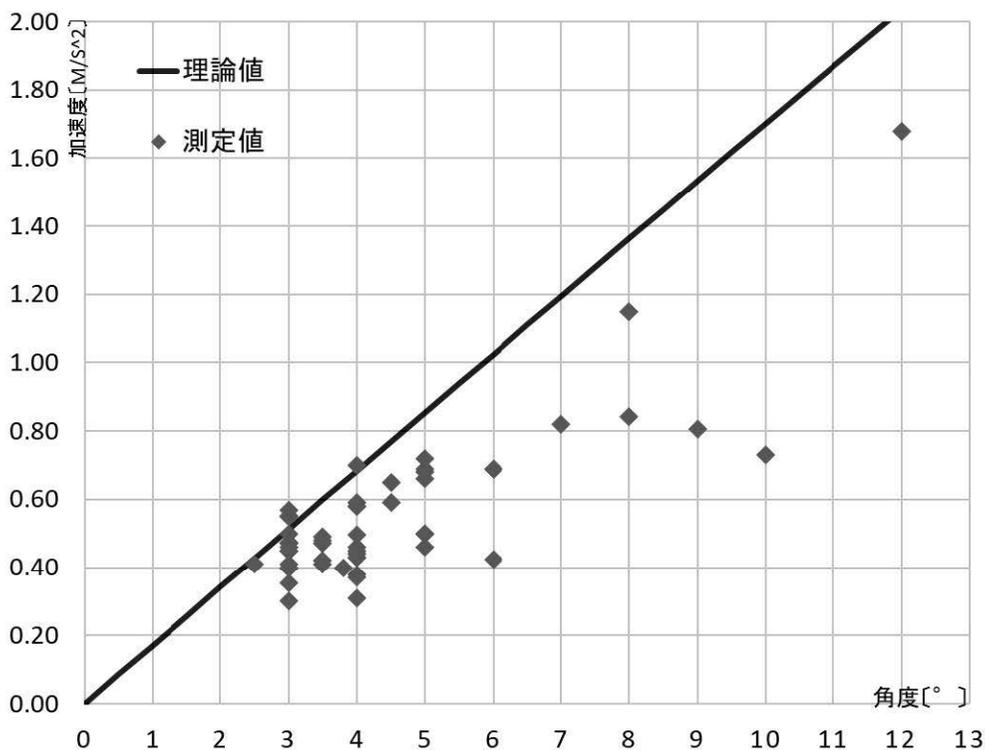


図2 等加速度直線運動実験結果 (全体, グループ平均を打点)

を行ってもらった。実験のしやすさや、傾斜を作り出すもの（教科書の厚みや発泡スチロールブロックなど）から、同じ角度で測定するグループが多くなっている。記録テープによる測定などは打点等の力により加速の減少が生じるため、全体的に理論値よりも低めに出る傾向は正しく測定できていると言える。また、角度が大きくなればなるほど力学台車が坂の下に到達してしまうため、速度が正確に測定できないために加速度が大きく減少している。このことは、生徒たちの考察の記述から読み取れる。

実験結果から、記録テープで測定したものとビデオカメラで測定したものの大きな差は見られなかった。これらは記録テープによるものと、カメラで撮影したものを別々に実験をおこなったグループと、記録テープとカメラ撮影を同時に行ったグループの双方があるために大きな差が見ることができなかったと考えられる。



図3 動画の撮影例(2018年度)。(左)カメラを固定したときの撮影。力学台車は右に下っている。(右)カメラを力学台車と同じ運動をさせたときの撮影。力学台車は左に下っている。下に続く写真は10フレーム後(約0.3秒)時間経過をしている。

2.3. 動画の記録内容

動画の撮影の仕方は「真上で撮影して目盛りを読み取りやすいよう工夫すること」と伝えるのみに留めた。そのため大きく2パターンの撮影方法が見て取れた。

1つ目は、カメラを固定して撮影したものである(図3 左)。この方法で撮影すると、動画を見るだけでどのような運動であるかが一目瞭然となり、視覚的に力学台車がどのように運動したかが非常にわかりやすい。一方で、力学台車の速さが大きくなるほど(時間が経過し、力学台車が下るほど)、30fpsの動画スピードでは追いつかなくなり、ブレが生じてしまう。

2つ目は、カメラを力学台車と同様の速度で移動させ撮影するものである(図3 右)。この動画は一見まったく動いていないように見えるが、それぞれのフレームを見てみると、坂の目盛りや床との移動がわかる。また、力学台車と同じ速度で動かすことで後半の速さが上昇した部分の撮影も、比較的明瞭に力学台車の位置を読み取ることができる。ただし、この撮影方法は、力学台車の速度増加がある程度までに限られており、傾斜角度が大きくなる場合撮影がうまくいかなくなることが多かった。

3. 測定機器の評価

3.1. 評価概要

本実験では、記録タイマーを用いた測定と、動画を用いた測定の双方において「測定の正確さ」「処理のしやすさ」「教育効果の高さ」の3つの観点それぞれ4段階および記述で実際に実験した生徒に評価してもらう活動を実施した。「測定の正確さ」は測定の正確性が高い点、「処理のしやすさ」はミスが少なく処理ができることや処理時間の点、「教育効果の高さ」は理解の深まりや中学生が理解しやすいこと、思い出しやすい点などを記録タイマーと動画を比較してもらった。また、これ以外の評価基準を任意でつけてもらい、その評価基準においてもそれぞれ4段階および記述で評価してもらった。

3.2. 「測定の正確さ」の観点

測定の正確さの観点において、4段階評価(最高4, 最低1)の平均値を年度ごとにまとめたものが表1になる。表の「差」は記録タイマー

	記録タイマー	動画	差
2017年	3.37	2.34	1.03
2018年	3.41	2.44	0.97

表1 「測定の正確さ」の観点

の評価から動画の評価を引いたものになる。以下これらの表は同様に見る。

2017年、2018年ともに記録タイマーがほぼ1点の差をつけている。生徒のほぼ全員がスコアの基準のずれはあるが記録タイマーの評価を高くつけている。記述としては、記録タイマーにおいて「正確に0.1秒で5打点打っているから」「方法さえ分かれば正確」「定規で細かく測れる」「測定に注意すれば正確」「簡単かつ正確」と基本的に全面的に記録タイマーでは測定の正確さがあるとしている生徒と「打点は正確だが、切るときに誤差が生じる恐れがある」「テープがたるむと正確に測定できない」「記録

テープを切る時、正確に切らないと誤差が生じる」「点が見にくかったが、正確ではある」「最初の点が重なっている部分は正確ではない」「記録テープを切る時、測る時と測定を間違える可能性が複数ある」と一部正確性に欠けることを指摘する記述もあるが、このような記述をしている生徒も基本的には記録タイマーを高評価している。

一方で、動画の記述は「動画がぶれていて目盛りが読みにくい」「動画が見づらい」「動画の撮影方法に工夫が必要」「動画が見えにくいので恣意的に見ている可能性がある」という表記が大半を占め、速度が上昇した場合の動画の見えづらさを中心に記載しているものが目立った。図3でも示したように、カメラを固定して撮影した場合は力学台車のぶれが大きいので力学台車とともにカメラを動かして撮影することで、より正確に測定を試みた工夫をしたことがわかる。

さらに、双方の記録の仕方を多面的に比較した記載もあり、そのような生徒は単純に記録タイマーでの評価が高いわけではなく、同点にしていたり、動画の評価を高くしていたりする場合も見受けられた。例えば「記録タイマーでは0.1秒ごとに5打点ずつ打つ単純作業であるが、記録タイマーが動いてしまうと記録はずれる。測定する速度が遅いと点の感覚が非常にせまくなってしまい正確な測定が困難になる。また記録テープが記録タイマーをスムーズに動かないと測定が正確でなくなる。動画は一連の作業が全て記録されるため測定がそのまま記録されるが、撮影する手が大きく動いてしまうと動画がぶれてしまうため、可能であればカメラの固定をして撮影することで正確に取り扱える」(記録タイマー:3, 動画:4), 「記録タイマーの記録テープは切った瞬間に加工されてしまうが、動画は削除しない限りデータとして残り続けるので、後からでも何度も見直すことが可能であり、少し失敗しているのであればもう一度測定をし直すことができる。記録タイマーは機器自体の不調や、少しの作業ミスでも測定が正確でなくなってしまう」(記録タイマー:3, 動画:4), 「記録タイマーは打点が読みづらかったり、切る時に人間の手が少なからず入るので誤差が生まれやすいと思う。動画はぶれが生じるのでメモリを読む時に誤差が生まれそうだが、ぶれた時の読み方を決めておけば大丈夫だと思う」(記録タイマー:2, 動画:3) と記録タイマーで正確に測定できない原因について言及している。

3.3. 「処理のしやすさ」の観点

処理のしやすさの観点において、3.2と同様に4段階評価をしてもらったところ、記録タイマーと動画での評価は大きく二分した。これは、単

	記録タイマー	動画	差
2017年	2.61	2.76	-0.15
2018年	2.81	2.82	-0.01

表2 「処理のしやすさ」の観点

純にICT機器の利用が得意としている生徒と不得意としている生徒の感じ方の差が如実に表れているものだと思う。そのため、2017年度よりも2018年度がより拮抗し、一部クラスでは記録タイマーの評価が高いクラスもあるなど、特に学年等の傾向は見ることができなかった。年次進行によって動画での処理がしやすいと評価をするように思えたが、特に有為な差が見られなかった。また、通常利用しているパソコンと比べて実

験室で使用しているパソコンが旧式のため、通常利用している機器よりも動作が遅かったり、手間が少し増えたりするため使用しにくいと感じ評価が下がったとも考えられる。

記述内容としては、記録タイマーにおいて評価を低くした生徒の記述内容の主なものは「記録テープを切る、測る、貼るという手順が多くて面倒」という答えが多い。「打点が見にくい」という正確さに繋がる部分の記述もあった。「切る打点の場所を間違えた瞬間面倒なことになる。記録テープを測定するのに面倒だがこの作業の分担はしやすい」「記録テープを切る前に番号を振っておくと問題ない」など先と同様な意見だが、工夫をすることで面倒な処理を軽減できたりミスをなくすることができる言及もあった。一方で記録タイマーの評価を高くした生徒の記述内容には「切って貼るだけなので、結果が一目瞭然」「作業が面倒だが、ミスに気付きやすい」「道具があれば場所を選ばず、単純作業で面倒な点も少ない」というものがあつた。

動画において評価を高くした生徒の記述内の主なものは「簡単かつ正確」「全員で同時に確認できる」「撮影が難しいが、距離は測りやすい」「動画は解析するのが早い」「動画をパソコンに取り込めばいつでもできる」と、基本的に動画ソフトで動画をコマ送りし、目盛りを読むことで処理が完成するため簡単であるという意見が大半であつた。今回は動画を生徒が読み取るという手法だったが、センサーを利用して距離そのものを直接測定できる機器を利用すれば、さらに処理の手間が省けるためこの部分の評価は高くなるのが想定される。一方で動画の評価を低くした生徒は「動画のぶれの部分を読み取るのが大変」「動画の目盛りは人によって読み方が変わってしまう」など、前項で懸念されている正確さを求める上での処理のシクさを訴えているものや、「動画をパソコンに入れるのが大変」「動画ソフトの使い方がよくわからない」「機器接続・立ち上げが難しい。ただ慣れたら処理は速い」など、機器の接続についてのことや、使用のしにくさなどで評価を下げている内容も多くあつた。「手間という観点から見ると、記録タイマーはテープを切る作業、動画はパソコンに移す作業がありどちらも同じ。しかし、パソコンを使い慣れている私からすると、パソコン上で処理をした方が記録タイマーのテープを切って貼り、定規で長さを測るといった面倒な工程を省くことができ、5つの点でテープを切る際のミスが起こることもないため、動画の方が早く処理できる。ただし、今回の場合1度に作業できる人数が、記録タイマーが4人に対してパソコンは1人だったため、1度で大人数が違うデータを処理するときは、記録タイマーの結果が便利だと思う」という記述もあり、ICT機器の整備状況や使用状況で処理のしやすさは大きく依存することを想定する生徒の記述もあつた。

処理のしやすさは、今後さらにパソコンやセンサー類の整備ができれば、基本的にICT機器を利用することで生徒にとって非常に簡便な実験操作になることが窺える。

3.4. 「教育的効果の高さ」の観点

教育的効果の高さ観点において、3.2と同様に4段階評価をしてもらったところ、どちらの学年も記録タイ

	記録タイマー	動画	差
2017年	3.64	2.78	0.87
2018年	3.62	2.88	0.73

表3 「教育的効果の高さ」の観点

マーの方が優位な結果となった。この差はほとんどの生徒が動画より記録タイマーによる実験について教育的効果が高いという評価をしているためである。この傾向は「測定の正確さ」と同様である。また、「測定の正確さ」よりもスコアが高い点にも注目したい。多くの生徒が満点の4をつけていることになる。ただ、動画のスコアが著しく低いわけではなくある一定の効果があることを示している。2018年度の生徒は、記録タイマーの評価は2017年度と大きな変化がないが、動画での評価が0.1ポイント高くなっていることから、より動画での教育的効果が高いという評価をしている生徒が多くなっていることも窺える。

記述内容としては、記録タイマーの教育的効果として「印象に残った。視覚的に捉えられるので良い」「自分で作業するので記憶に残りやすく、形に残るので理解しやすい」「 $v-t$ グラフと関連付けられ、高校生にはわかりやすい。測定したものがそのまま図として見られるので、数値だけの動画より記憶に残りやすい」「整理しながら作業するので教育的にはいい」「中学校でやったのでいい復習になった」とやはりグラフが作成でき視覚的に理解しやすい点と、作業をすることで記憶に残る点や中学校での実験を思い出すことができたことを挙げる生徒が多かった。処理の工程があると、記憶しやすいという認識がある。

対して動画の教育的効果の記述としては「理解しやすいが、教育的に良くない」「作業が圧倒的に楽なので印象は薄い」「コマで見ると全体の様子が分かりにくい」「物理との関連は薄い」「機器を使いこなせないと理解できない」という記述が目立った。処理がしやすい分、記憶に残らないため教育的効果が少ないと感じている生徒が多い結果であることがわかる。また「一部分のみの撮影だと等加速度直線運動なのかわからなく混乱する」という意見もあった。一方で「動画でコマ送りすると1コマ1コマで動く距離が変化するのが見えるので、動画の方が加速度を実感できる」と先の意見と対峙する意見や、「データの残り方としては、記録タイマーはテープで残るが、動画は映像として残り当時の様子を何度も見ることができ思い出しやすい」「動きをスローモーションで見ることができる」「角度の違いの動画を一緒に流すと力学台車の動きの違いが一目瞭然にわかる」など、動画を記録として残すメリットから教育的効果が高いとする評価もあった。これらの評価は2018年度の生徒がより多く記載しているのも特徴的であった。

3.5. 実験の「評価」からさらなる「学び」へ

この実験はまず中学校で同様な実験を行なっていることや実験実施時に理論的な部分を学んでいるため、生徒は「復習」として捉えており、客観的に実験結果を見て結果のみでなく周辺の状況も注意深く捉えることができている。そのため、様々な評価・考察を生徒らは生み出している。

「処理の正確さ」は記録タイマーのみでの実験では見いだすことが難しい記録タイマーでの正確性が劣る部分を、動画と比較することで生徒自身が捉えることができた。

また、動画の撮影を工夫することで精度を向上するなど、探究的な学習につながる行動に繋がっていることが垣間見える。これらは ICT 機器を利用した実験のみでは見いだすことが難しい行動の 1 つだと考えられる。また、機器による測定が正確であるという思い込みも払拭できる。

「処理のしやすさ」と「教育的効果の高さ」は生徒らの評価からかなり強い関連があることが考えられる。ICT 機器を利用するメリットはあるものの、これらで処理を単純化することが教育的効果に繋がらず、むしろ希薄な記憶になり学習効果が生じない可能性も示唆している。今後コンピュータの活用はますます広がることが考えられるが、利便性と教育効果をどのようなバランスで利用するかは、学習指導計画をする上で考慮する必要がある。特に、中学校で率先的に ICT 機器を利用している場合は、高校の学習においてあえて記録タイマーなど“アナログ”な実験を導入し、視覚的に理解する機会を設けるなどの工夫をすることで、物理学の理解を深める手段になることが考えられる。

4. まとめ

近年、コンパクトな距離センサーや、加速度そのものを測定できるセンサーも普及してきた。これらを単に利用すれば理解が深まるものではなく、どのように利用するかを教授者は計画することが肝要であることを本論では示唆している。このような活動を通して、知識や技能の定着、実験結果の分析による思考・判断・表現を高め、同じ実験内容を様々な測定方法で実施することにより、実験内容を俯瞰的に見ることで振り返り、現在までの学びを統合し、主体的に学習に取り組む態度を育成することが今後の教育活動では求められている。今回の実験ではグループで実験を行い個人で評価をしてもらったが、この評価を元にグループごとで意見交換をして、様々な視点を共有することでより実験や現象を深めることもできる課題になると考えられる。引き続き学習・実験活動での評価方法や効果を検証したいと考える。

参考文献等

- ・文部科学省、『高等学校学習指導要領（平成 30 年告示）解説【理科編 理数編】』、2018 年
- ・OECD.org Tokyo Centre 「学校で技術利用の潜在性を引き出すためにも新しいアプローチが必要」、2015、<https://www.oecd.org/tokyo/newsroom/new-approach-needed-to-deliver-on-technology-s-potential-inschools-says-oecd-japanese-version.htm> (2021 年 5 月 24 日閲覧)
- ・OECD：“Students, Computers and Learning Making the Connection”, PISA, 2015, <https://doi.org/10.1787/9789264239555-en> (2021 年 5 月 24 日閲覧)
- ・文部科学省 国立教育政策研究所、『「指導と評価の一体化」のための学習評価に関する参考資料 中学校・理科』、2021 年