

意識して起こす反応と無意識に起きる反応（反射）の伝達経路の違いを実感させる教材の開発  
Development of teaching materials to understand the difference of transmission time between conscious action and reflex action

古屋康則<sup>1</sup>・鯉江直輝<sup>1</sup>・松浦亮太<sup>2</sup>・中村 琢<sup>1</sup>

Yasunori Koya, Naoki Koie, Ryota Matsuura and Taku Nakamura

<sup>1</sup>〒501-1193 岐阜市柳戸 1-1 岐阜大学教育学部 理科教育；<sup>2</sup>〒500-8482 岐阜市加納大手町 74 岐阜大学  
教育学部 附属中学校  
TEL 058-293-2255 (Email: koya@gifu-u.ac.jp)

### 要 約

中学校2年理科「動物の生活と生物の変遷」の単元における生徒実験として、意識して起こす反応（意識反応）と無意識に起きる反応（反射）の伝達時間を比較計測する実験を提案した。実験には脊髄反射である膝蓋腱反射を採用し、膝の真横を軽く叩かれたら意識して足を上げることを対照実験とし、両反応の様子をタブレット端末（iPad）で側面から撮影し、コマ送り再生が可能な無料動画アプリ「ウゴトル」を用いて、刺激を受けてから反応が起きるまでの時間を計測した。予備実験・授業実践とも、意識反応に要する時間に比べ、反射に要する時間の方が有意に短く、本研究で提案する実験が、中学生でも意識反応と反射に要する時間の違いの差を容易に検出できるものであることが示された。さらに、この実験は中学校の通常の授業時間（50分間）内で十分に実施可能である。

### 緒 言

中学校第2学年理科の「動物の生活と生物の変遷」の単元では、刺激に対して起こる反応として、意識して起こす反応と無意識に起きる反応、すなわち反射を伝達経路の違いに着目して学習する。しかしこの単元で実践できる実験として教科書に示されているものは、意識して起こす反応の伝達時間を計測するものに限定されている。例えば、落下するものさしを手でつかむことで反応の時間を求める実験（岡村ほか，2015；塚田ほか，2015；有馬ほか，2015；霜田ほか，2015；細矢ほか，2015）や、多数の生徒が手をつないで輪になり、片方の手を握られたらもう片方の手を握る行動を連続して行い、反応にかかる時間を計測する実験（塚田ほか，2015；有馬ほか，2015；霜田ほか，2015；細矢ほか，2015）がある。

一方、反射については、熱いやかんに触れてしまって咄嗟に手が離れる脊髄反射の一種である屈筋反射を例に、脊髄反射について説明しているが、教科書に示されているこの単元の実験・観察としては、中脳反射である瞳孔反射を扱ったものしか掲載されておらず（岡村ほか，2015；塚田ほか，2015；有馬ほか，2015；霜田ほか，2015；細矢ほか，2015）、教

える内容に矛盾が生じている。意識して起こす反応と反射の伝達経路の違いを実感を伴って理解させるには、両反応の伝達時間を比較するような生徒実験を行うことが望ましいが、反射の反応時間は一瞬であり、ストップウォッチで計測することは不可能であるため、そのような実験は行われていないのが現状である。

この現状を打開するための方策として、意識して起こす反応と反射の反応の様子をタブレット端末で動画撮影し、動画アプリを用いてスロー再生やコマ送り再生することで、両反応の伝達時間を比較計測することが可能ではないかと考えた。また、反射の伝達経路として教科書で説明されているのは脊髄反射であるため、脊髄反射の一種である膝蓋腱反射を活用することができれば、現行の多くの教科書の記載に見られる矛盾点を解消できるのではないかと考えた。

そこで本研究では、学習指導要領解説理科編（文部科学省，2009，2018）でも盛んに授業への導入が推奨されているICT機器として、タブレット端末と動画アプリを用いた生徒実験を提案し、授業実践を行うことで有効性を検討することを目的とした。

## 材料および方法

**教材研究.** 本研究では、生徒が行う実験として脊髄反射の1つである「膝蓋腱反射」を用いた。高橋ほか(2015)は、膝蓋腱反射を高確率で起こす方法として、被験者を椅子に座らせ、膝を組ませた上で、上側に組んだ足の膝蓋骨(膝の皿)の下の窪み(膝蓋腱:図1a)に、芯ができるように硬く丸めた新聞紙(図1b)をあて、その上を木槌で叩くという方法を報告している。膝蓋腱反射と比較する意識して起こす反応として、膝の真横を木槌で軽く叩かれたら意識して足を上げさせるという反応をさせた。両反応とも視覚による情報を遮断するために、被験者には目を閉じさせた状態で反応させた。

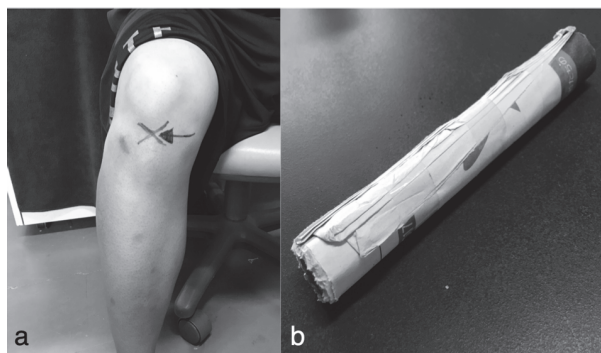


図1. 膝蓋腱反射を容易に起こさせる方法(高橋ほか, 2015 参照). 膝蓋骨の直下の窪み(aの×印の箇所)に芯ができるように硬く丸めた新聞紙(b)をあて、新聞紙を木槌などで叩く.

意識して起こす反応と膝蓋腱反射の反応時間を測定するために、両反応の様子をタブレット端末(iPad)またはスマートフォンの動画アプリにより撮影した。撮影する際には、椅子に座って足を組んだ被験者の足の部分を真横から撮影した(図2)。撮影された動画から、刺激を与えてから反応が起きるまでの伝達時間を計測する方法として、本研究では以下の2つの計測方法を検討した。1つ目は、カメラ機能の「スローカメラ」を選択して動画を撮影し、その動画(スロー再生)をストップウォッチで計測する方法である。このスローカメラ機能では、再生時に実際のスピードが4分の1倍で再生される。2つ目は、「ウゴトル」(App Store からダウンロード: <https://itunes.apple.com/jp/app/ウゴトル/id507839972?mt=8>)という無料動画アプリを使用する方法である。撮影された動画をウゴトルで再生すると、コマ送り再生やスロー再生ができる。コマ送り再生では、1秒が30コマ

に分割され、各コマの時間が表示されるので(図2)、ストップウォッチがなくても伝達時間を計測することができる。

**実践.** 予備実験として、岐阜大学教育学部3年生を対象とした模擬授業4回で、スマートフォンのカメラ機能のスローカメラを選択して動画を撮影後、ストップウォッチを用いた計測を行った。通常の授業のように生徒役の学生に通り撮影方法と計測方法を説明した後、練習などはさせずにすぐに実験を

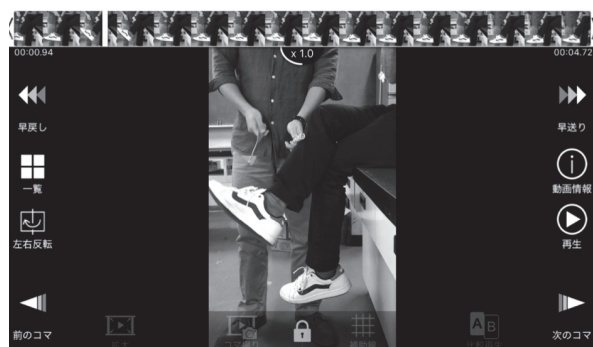


図2. 動画アプリ「ウゴトル」を用いたiPadの画面。刺激と反応の様子を被験者の真横から撮影する。撮影した動画をコマ送りで再生し(画面上方に表示)、刺激(写真ではゴム槌で膝を叩く)から反応(脚が上方に動く)の瞬間までの時間を画面に表示される各コマの時間から計測する。

行わせた。別の岐阜大学教育学部生10グループにはiPadで動画を撮影後、ウゴトルを用いてコマ送り再生する予備実験を行わせた。こちらでも撮影方法と計測方法を一通り説明した後、すぐに実験をさせた。

岐阜大学教育学部附属中学校第2学年の全4クラスのうち3クラスで授業実践を行った(古屋ほか, 2019 参照)。授業内容としては、導入において刺激に対して起こる反応には意識して起こす反応と反射があることを確認するようにした。反射として膝蓋腱反射を全員に体験させ、意識して反応が起きないようにしても反射が起きることを確認した上で、「両反応の伝達時間に違いはあるのか」という課題を設定するようにした。生徒実験は4人を1組とした班ごとに実施させ、各班で被験者を1名決めさせて、意識して起こす反応と反射を起こさせ、その様子をiPadで撮影させた。実験時間には15分から20分を充てた。各班の結果をまとめた後に意識して起きる反応と反射の伝達経路について考察し、最後に膝蓋

腱反射の必要性について触れるようにした。授業実践を行った3クラスの授業は、すべて異なる教員が行った。授業実践での刺激を受けてから反応が起きるまでの時間の計測は、iPadでの撮影とウゴトルを用いたコマ送り再生により行った。授業の様子をビデオカメラで撮影するとともに、iPadで撮影された反応の様子から、撮影・計測が正しく行われていたか否かを解析した。

## 結 果

**大学生による予備実験。** 岐阜大学3年生を対象としたスマートフォンでの動画撮影とストップウォッチを用いた4回の模擬授業での計測結果を表1に示した。この計測では、刺激から反応までの計測時間にばらつきが大きく、意識して起こす反応と反射の反応時間には重なりが見られた。しかし、班毎に計測数値を見ると、意識して起こす反応と反射の反応

表1. スマートフォンで撮影し、ストップウォッチで計測した予備実験の結果

模擬授業の回数	意識して起こす反応[s]	反射[s]
1回目	1.59	0.91
	2.31	1.72
	1.32	1.54*
2回目	0.61	0.29
	1.06	0.23
	1.19	0.21
3回目	0.44	0.26
	0.30	0.24
	0.35	0.17
4回目	2.07	0.96
	2.19	1.16
	2.44	1.56

\*意識して起こす反応と反射の伝達時間が逆転している結果を示す。

表2. iPadで撮影し、ウゴトルで計測した予備実験の結果。

実験班	意識して起こす反応[s]	反射[s]
1	0.33	0.06
2	0.37	0.14
3	0.24	0.09
4	0.27	0.05
5	0.28	0.13
6	0.26	0.10
7	0.20	0.05
8	0.21	0.10
9	0.25	0.06
10	0.25	0.04

時間が逆転しているのは1班のみであった。4回の結果をまとめてグラフ化したものを図3aに示した。意識して起こす反応の計測時間は平均1.32秒であったのに対して、反射の計測時間は平均0.77秒となり、意識して起こす反応に比べ、反射の方が計測時間が有意に短かった（対応のあるt検定、 $P<0.05$ ）。

次に、別の岐阜大学生10グループを対象としたウゴトルを用いた予備実験の結果を表2に示した。意識して起こす反応の計測時間が最小で0.17秒から最大で0.33秒であったのに対して、反射の計測時間は最小で0.04秒から最大で0.14秒となり、両反応の計測時間の値が重なることはなく、個々のグループごとに見ても全グループで反射の計測時間の方が短かった。この結果をまとめてグラフ化したものを図3bに示した。意識して起こす反応の計測時間が平均0.246秒であったのに対して、反射の計測時間の平均は0.082秒となり、意識して起こす反応の反応時間に比べ、反射の計測時間の方が有意に短かった（対応のあるt検定、 $P<0.05$ ）。

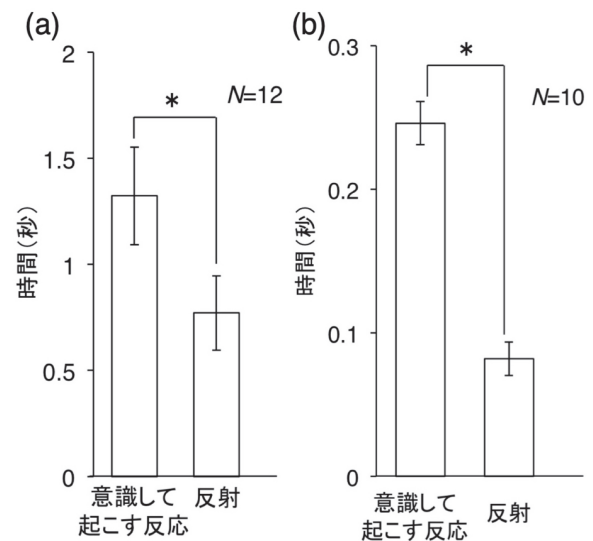


図3. 大学生による予備実験として実施した、意識して起こす反応と無意識に起きる反応（反射）における刺激から反応までに要する時間の比較. a: スマートフォンのカメラ機能の「スローカメラ」により動画を撮影し、再生画像を用いてストップウォッチで計測した結果. b: iPadで「ウゴトル」を用いて撮影し、コマ送り再生で計測した結果. エラーバーは標準誤差を表す. \*は対応のあるt検定で有意な差( $P<0.05$ )があることを示す.

中学校での授業実践. A 教諭が行なった授業では、課題として「意識した反応と無意識の反応（反射）は、どちらが速く反応するのか」を設定し、本研究で提案した実験を行った。実験では3回の計測を行い、その平均値を求めた（表3）。10班すべてで意識して起こす反応よりも反射の方が伝達時間が短いという結果が得られ、両反応の計測時間の値は重なることはなく、個々のグループごとに見ても全グループで反射の計測時間の方が短かった。

表3. A 教諭の授業において iPad で撮影し、ウゴトルで計測した実験結果.

実験班	意識して起こす反応[s]	反射[s]
1	0.15	0.05
2	0.25	0.09
3	0.18	0.11
4	0.16	0.08
5	0.20	0.03
6*	1.00	0.08
7	0.16	0.09
8	0.16	0.08
9	0.14	0.12
10	0.34	0.12

\*事後の撮影動画による検証から明らかに間違いがあったと判断された班を示す.

B 教諭が行なった授業では、課題として「無意識の反応と意識のある反応では、どのような違いがあるだろうか」を設定し、本研究で提案した実験を行った。各班の結果を表4にまとめた。10班中、8班で意識して起こす反応よりも反射の方が伝達時間が短いという結果が得られたが、2班では、計測を行う時間が足りずに計測ができなかった。

C 教諭が行なった提案実験を導入した授業では、課題として「意識して起こる反応と無意識に起きる

表4. B 教諭の授業において iPad で撮影し、ウゴトルで計測した結果.

実験班	意識して起こす反応[s]	反射[s]
1*	0.11	0.06
2*	0.20	0.16
3	0.20	0.07
4	0.16	0.04
5	—	—
6	—	0.13
7	0.19	0.08
8*	0.92	0.21
9*	0.10	0.06
10	0.18	0.11

\*事後の撮影動画による検証から明らかに間違いがあったと判断された班を示す.

反応の伝達（経路・速さ）には、どのような違いがあるのか」を設定した。その後、本研究で提案した実験を行う前に、新聞紙を当てる位置をイラストで示してから実験を行った。各班の結果を表5に示した。10班すべてで意識して起こす反応よりも反射の方が伝達時間が短いという結果が得られたが、両反応の計測時間の値には重なりが見られた。

表5. C 教諭の授業において iPad で撮影し、ウゴトルで計測した結果.

実験班	意識して起こす反応[s]	反射[s]
1	0.37	0.15
2	0.35	0.22
3	0.37	0.09
4	0.20	0.10
5	0.27	0.10
6	0.30	0.02
7	0.32	0.04
8*	0.11	0.06
9	0.33	0.04
10	0.34	0.01

\*事後の撮影動画による検証から明らかに間違いがあったと判断された班を示す.

提案した実験を導入した3クラスの授業実践について、全30班のデータのうち両反応の時間を計測できなかった2班と、明らかな間違い等で無効と判断された6班を除く22班のデータを表6に示した。無効と判断されたものとしては、反射を計測しているはずが意識して起こす反応を計測していたものや目を開けた状態で意識して起こす反応を行い、叩かれる前に足を上げていたものであった。意識して起こす反応に要する時間が最小0.14秒から最大で0.37秒であったのに対して、反射では最小0.01秒から最大で0.22秒で、一部の班で反射に要する時間が意識して起こす反応の時間を上回ったが、班毎に見ると全ての班で反射の時間の方が短くなった。この結果をまとめてグラフ化したものを図4とした。意識して起こす反応に要する時間が平均0.24秒であったのに対して、反射に要する時間が0.08秒と有意に短かった（対応のあるt検定、 $P<0.05$ ）。

## 考 察

予備実験として岐阜大学生10グループを対象に、無料の動画アプリ、ウゴトルのコマ送り再生を用いて刺激から反応までの時間を計測した場合、両反応

に要する時間が全てのグループで重なることなく、反射の反応時間が有意に短いことが示された。ウゴトルのコマ送りでは1秒が30コマに分割される。このくらいの精度でも意識して起きる反応と反射の伝達時間の違いが明確に示せることがわかった。ウゴトルではコマ送りの各コマに時間が表示されることから、ストップウォッチを用いる必要がないため、提案する実験を実施するには非常に適していると言える。

表 6. iPad で撮影し、ウゴトルで計測した中学生の授業実践の結果

実験班	意識して起こす反応[s]	反射[s]
1	0.15	0.05
2	0.25	0.09
3	0.18	0.11
4	0.16	0.08
5	0.20	0.03
6	0.16	0.09
7	0.16	0.08
8	0.14	0.12
9	0.34	0.12
10	0.20	0.07
11	0.16	0.04
12	0.19	0.08
13	0.18	0.11
14	0.37	0.15
15	0.35	0.22
16	0.37	0.09
17	0.20	0.10
18	0.27	0.10
19	0.30	0.02
20	0.32	0.04
21	0.33	0.04
22	0.34	0.01
平均	0.24	0.08

中学校における授業実践で、ウゴトルのコマ送り再生を用いて反応時間を計測したところ、30 班中 22 班で正確な実験結果を出すことができた。その結果を見ると、意識して起きる反応と反射の平均時間は大学生による予備実験の結果と良く一致しており、中学生でも大学生とほぼ同様の制度で意識して起こす反応と反射の反応時間の計測実験を行うことができると考えられる。一方で、30 班中 8 班では実験に様々な不備が見られた。以下ではその実態と改善策について議論する。

正確に反応時間を計測できなかった 8 班について、授業実践で見られた不備を授業の様子を撮影したビデオ映像から検討した結果、膝蓋腱反射を正確に起こせなかったことや、意識して起こす反応を反射として取り扱って計測していたことが考えられた。この点を改善するために、C 教諭による授業では、膝

蓋腱反射を正確に起こさせるように、膝付近のイラストなどを用いて木槌で叩く位置を視覚化して説明した。その結果 C 教諭の授業での実験では正確な計測ができなかった班は 1 班のみとなり、計測結果に改善が見られた。また、意識して起こす反応と反射をしっかりと区別するために、膝蓋腱反射が起きた時の感覚を事前に被験者に確認した上で実験を進めることも重要であると考えられる。

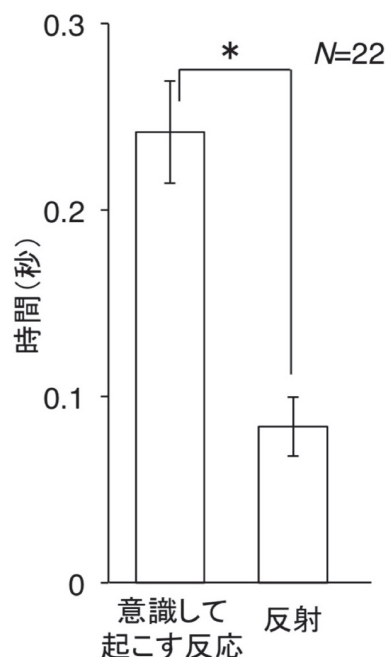


図 4. 中学生への授業実践で得られた、意識して起こす反応と無意識に起きる反応（反射）における刺激から反応までに要する時間の比較. iPad で「ウゴトル」を用いて撮影し、コマ送り再生で計測した。エラーバーは標準誤差を表す。\*は対応のある *t* 検定で有意な差 ( $P < 0.05$ ) があることを示す。

一方、授業実践を行なった教員からは、本研究で用いた「ウゴトル」の使用経験がなく、扱いづらかったという意見もあった。平成 20 年度中学校理科教師実態調査（科学技術振興機構，2008）では、「ICT の活用の指導についてどのように感じているか」については、年代に関わらず苦手意識が解消されていない現状となっている。しかしタブレット端末の授業活用に対する教員の意識調査（森山ほか，2013）では、過半数の教員が写真や動画の撮影および再生といったカメラ機能に興味を抱いていることが報告されており、本研究の授業実践のように ICT 機器を活用した授業を実施していくには、本研究で使用した「ウゴトル」よりも簡単で使いやすいアプリケー

ションを模索していく必要があるのかもしれない。

岐阜大学3年生を対象として、スロー再生をストップウォッチで計測した4回の模擬授業では、実験のデータのばらつきが大きかった。この理由としてストップウォッチを押す動作自体が、意識して起こす反応であり、この動作が加わることでより誤差が大きくなったと考えられる。しかし、どの回においても反射の反応時間が有意に短いことが示せたことから、スロー再生とストップウォッチを用いれば、iPadなどのタブレット端末が配備されていない学校においても、提案する実験の実施が可能であることが示唆された。

本研究では、刺激を受けてから反応するまでの時間を計測する生徒実験を開発した。予備実験と授業実践の結果から、スロー再生動画をストップウォッチで計測する方法よりも動画アプリを用いたコマ送り再生による計測の方がより正確に結果を出すことができた。この教材は中学校の50分間の理科の授業の中で扱える内容であり、意識して起こす反応と無意識に起きる反射における刺激を受けてから反応するまでの時間の差を比較的簡単かつ明確に示すことができるものである。生徒が両反応の違い、特に刺激から反応までの伝達経路の違いをより実感を伴って理解することで、知識の定着にも有効であると考えられる。この点については、アンケート調査によって調べた結果から、提案する実験を行なったクラスの方が行わなかったクラスよりも知識の定着度が高いことが示唆されている（古屋ほか，2019）。

## 謝 辞

名古屋女子大学の高橋哲也准教授には膝蓋腱反射を簡単に起こす方法について資料をいただき、ご教授していただいた。岐阜大学教育学部附属中学校の古川貴之教諭、ならびに三橋直哉教諭には提案する実験を用いた授業実践をしていただき、データを採集させていただいた。また、岐阜大学教育学部学生諸氏には予備実験にご協力いただいた。以上の方々

には、感謝の意を表する。

## 引用文献

- 有馬朗人ほか62名. 2015. 新版 理科の世界2：大日本図書株式会社. 東京.
- 細矢治夫・養老孟司・丸山茂徳ほか28名. 2015. 自然の探究 中学校理科2：教育出版株式会社. 東京.
- 科学技術振興機構. 2008. 平成20年度中学校理科教師実態調査. [http://www.jst.go.jp/cpse/risushien/secondary/cpse\\_report\\_002.pdf](http://www.jst.go.jp/cpse/risushien/secondary/cpse_report_002.pdf)
- 古屋康則・鯉江直輝・松浦亮太・古川貴之・三橋直哉・中村 琢. 2019. タブレット端末と動画アプリを用いた「無意識に起きる反応(反射)の伝達経路を実感させる教材」の授業実践による効果の検証. 岐阜大学カリキュラム開発研究, 35: 30-36.
- 文部科学省. 2008. 中学校学習指導要領解説 理科編. 大日本図書株式会社. 東京
- 文部科学省. 2018. 中学校学習指導要領解説 理科編. [http://www.mext.go.jp/a\\_menu/shotou/new-cs/1387016.htm](http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/1387016.htm)
- 森山 潤・永田智子・中原久志・上之園哲也・萩嶺直孝・勝本敦洋. 2013. タブレット端末の授業活用に対する教員の意識傾向. 日本教育工学会論文誌, 37: 41-44
- 岡村定矩・藤嶋昭ほか49名. 2015. 新編 新しい科学2：東京書籍株式会社. 東京.
- 霜田光一・森本信也ほか29名. 2015. 中学校科学2：学校図書株式会社. 東京.
- 高橋哲也・田中ゆりこ・池田雅志・廣渡洋史・岩澤淳・村田公一・小椋郁夫. 2015. 初等理科を履修する学生が高確率で膝蓋腱反射を体験することができる方法の開発. 日本理科教育学会東海支部大会研究発表要旨集, 61: 58
- 塚田 捷・大矢禎一・江口太郎・鈴木盛久ほか58名. 2015. 未来へひろがるサイエンス2：株式会社新興出版社啓林館. 大阪.