

心筋の代謝に関する中学校理科授業の実践

教育学研究科 教育実践創成専攻 教科領域実践開発コース 中等教科教育分野 佐藤蓮太

1. はじめに

我が国の中学校理科において、ヒトの循環系については、第2学年単元「動物の体のつくりと働き」で取り扱われており、胸部中央に位置する心臓を起点とした血液循環（肺循環・体循環）等について学習する（文部科学省，2019）。また、中学校において、ヒトの循環系に関する学習は理科だけでなく、保健体育科でも設定されている。具体的には、第2学年単元「生活習慣病などの予防」の中で、心臓の筋肉に血液を運搬する血管の狭窄によって起こる狭心症や、血管の閉塞によって起こる心筋梗塞等を学習する。

こうしたヒトの循環系重視の思潮と連動して、国内外の中学生を対象とした循環系に関する認識調査研究も多数遂行されてきた。例えば、心臓の位置、心臓内部の血流経路、及び血液循環（肺循環・体循環）等に関する認識調査を挙げることができ、その非科学性等を指摘している（久松ら，1983；Arnaudin & Mintzes，1986；Reiss *et al.*，2002；佐々木ら，2019；佐々木ら，2020；Caifeng Zhao *et al.*，2023）。

しかしながら、これまで国内外において、心筋の代謝に関する認識調査研究は行われてこなかった。また、現行の中学校理科では、体循環において、心臓自体の血液循環など、心筋の代謝は扱われていない。一方、中学校保健体育科では、狭心症や心筋梗塞といった心臓病の学習の中で、心筋に血液を運搬する冠動脈の狭窄・閉塞が主に扱われているが、心筋からの血液の運搬を司る冠静脈についてはほとんど触れられていない。

そのため、両科目の学習を行っても、心筋の代謝に関する包括的に学習がなされないため、「血液を送り出すポンプの働きをする心臓が、

なぜ動き続けられるのかについては良く分からない」と考える中学生も少なからず存在するものと推察される。そこで、筆者は、ヒトの心筋の代謝に関する認識達成を志向した理科授業を実践したので報告する。

2. 研究目的

本研究の主目的は、ヒトの心筋の代謝に関する認識達成を志向した理科授業を実践して、その結果等を評価することにある。

3. 理科授業の流れ

表1は、今回実践した理科授業の流れである。一覧すれば分かる通り、計2のステップ（ステップ1：心筋の代謝の前提となる知識・思考等の育成，ステップ2：心筋の代謝に関する知識・思考等の育成）で構成される。そして、計2のステップには、計4の小ステップ（ステップ1-a：筋肉としての心臓と心臓の拍動による血液循環，1-b：心臓や肺・全身を流れる血液循環（肺循環・体循環），2-a：心臓の拍動に必要なエネルギー源となる物質，及び2-b：心筋への必要な物，心筋からの不要な物の運搬）が含まれる。

表1：理科授業の流れ

ステップ	内容
1	心筋の代謝の前提となる知識・思考等の育成
1-a	筋肉としての心臓と心臓の拍動による血液循環
1-b	心臓や肺・全身を流れる血液循環（肺循環・体循環）
2	心筋の代謝に関する知識・思考等の育成
2-a	心臓の拍動に必要なエネルギー源となる物質
2-b	心筋への必要な物，心筋からの不要な物の運搬

4. 理科授業の実践

4.1 実施時期と対象

2023年10月下旬から11月上旬にかけて、山梨県内の公立中学校第2学年計22名（男14名、女8名）を対象にして実施した。次節以降では、各小ステップで実施した授業の概要について報告する。

4.2 各小ステップの授業の概要

4.2.1 ステップ1-aについて

ステップ1-aでは、筋肉としての心臓と心臓の拍動による血液循環に関する科学的認識を目指した。本ステップで生徒が取り組む課題は、「胸の左側から、心音が大きく聞こえるのはなぜだろうか？」である。以下に、実施した主な学習活動を記す。

まず、心臓の位置について生徒に尋ねたところ、4分の1にあたる6名の生徒が、心臓の位置を胸部左側と回答した。その理由を生徒に尋

ねると、「心臓の音が左側からドクドク聞こえるから。（生徒3）」のように、心音に依拠して回答した生徒が大半を占めた。その後、人体模型で心臓の位置を確認させ（図1）、心臓の位置と心音が良く聞こえる位置とが異なる理由を生徒に尋ねた。

引き続き、冒頭で挙げた課題を提示して、個人で予想を立ててもらった。複数の生徒から「左側の血管が関係している」等の考えを聞き出した上で、心臓の断面図を配布し、同様の課題について、再度個人で考えさせた。その後、班での意見交流を行った（図2）ところ、図3に示す通り、「（左心室の周りの心筋を○で囲んで）丸の部分が動いているから、左からよく聞こえる。（2班：図3上段中央）」や「左側の方が心臓の体積（厚さ）がおおきいから（6班：図3下段右）」等、心臓の拍動や心筋の厚さに着目した回答が表出した。これらの意見をもとに、クラスでの議論を通して、「心臓左側の筋肉



図1：人体模型による心臓の位置の確認



図2：班での議論

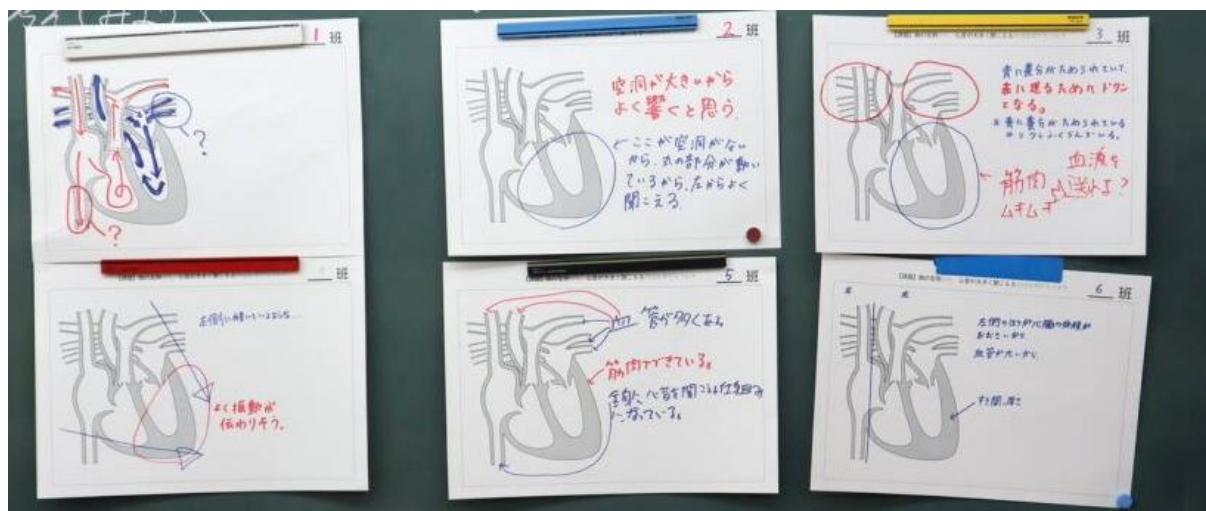


図3：課題に対する各班の回答（ステップ1-a）

が厚く、強い力で血液を送り出すときに音がする」と意見がまとまった。

一方で、図3左上の回答を見れば分かるように、この1班は、血流の向きや流れに強く拘りを持ち考察していたものの、本小ステップの課題に対する回答を得ることができなかった(図3上段左)。授業の最後では、この1班の考えを取り上げて、心臓を流れる血液がどのように流れているのかを生徒に問い、次ステップ(ステップ1-b)の課題に繋げていった。

4.2.2 ステップ1-bについて

ステップ1-bでは、肺循環と体循環に関する科学的認識を志向した。まず、肺循環に関する学習では、課題「血液は、心臓や肺をどのように流れているのだろうか?」について回答(心臓や肺の血管に関する断面図に、血流の向きを矢印で記入)を求めた。

課題に対する個人の予想を立て、引き続き、班での意見交流を行った後、各班の考えを、電子黒板を使用して発表させた。各班の考えは多様であり、弁の存在や血流の方向性に基じた考え等が表出した(図4)。科学的に誤りが見られた班も、クラスの議論を通して、考えを再構成している様子が見られた。

続いて、体循環に関する学習においては、課題「血液は、心臓や全身をどのように流れているのだろうか?」について回答(全身の血管に関する断面図に血流の向きを記入)を求めて、全身を流れる血流の向きとその性質についての認識達成を目指した。生徒からは、例えば、「大動脈から出る血管で酸素が多い血液が運ばれる→毛細血管で静脈血となり、もどってく



図4：クラスでの議論の様子

る」と回答するなど、大動脈によって送られた血液が、毛細血管で酸素のやり取りが行われ、静脈血となって再び心臓に戻ってくること等を根拠に、回答していた。

4.2.3 ステップ2-aについて

ステップ2-aでは、心臓の拍動に必要なエネルギー源となる物質に関する科学的認識を目指した。課題として、「心臓はどうして動き続けられるのだろうか?」を設定し、心臓の拍動の回数や1日に送り出す血液の量を求める学習活動を行った。

具体的には、ヒトの心臓が一日に8万回から9万回ほど拍動していること、およそ9000Lの血液を送り出すことを、生徒自らの脈拍等を計測しながら、計算で求めさせた(図5)。その後、心臓が大きなエネルギーを必要としながら動き続けられる理由について、クラス全体に尋ねた。生徒からは、「酸素がいる! 二酸化炭素を出す!」や「栄養を消費して活動している」のよ

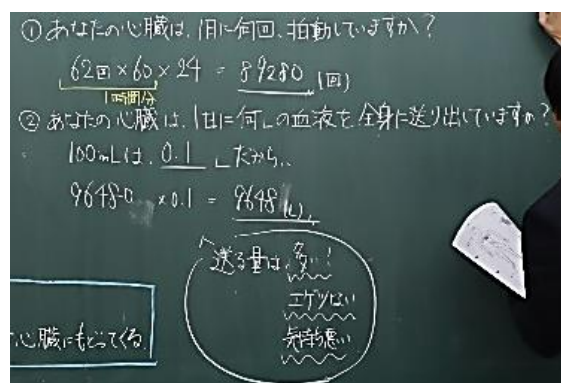


図5：心臓の拍動回数等

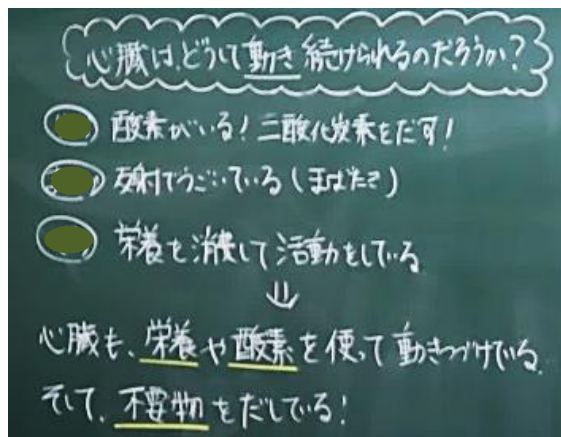


図6：心臓が動き続けられる理由

うに、他の臓器と同様、心臓も代謝を行うとする回答が得られた。一方、「反射でうごいている（まばたき）」のように、不随意筋である心筋の特性に関する回答も見受けられた（図6）。こういった回答を踏まえ、クラスで議論を行い、「心臓も栄養や酸素を使って動き続けている。そして不要物も出している」という結論に達した。

4.2.4 ステップ2-bについて

ステップ2-bでは、心筋の代謝に関する科学的認識達成を目標にしている。そのための課題として、「心臓自体（心筋）は、どのようにして、養分や酸素を取り入れ、不要物を排出しているのだろうか？」を設定した。

主となる学習活動として、まず、ステップ1-aでも活用した心臓の断面図と外形図を用いて、課題について個人で考えさせた。外形図の冠状動脈に着目し、「心臓の外形図にある血管で、養分や酸素を取り入れている」とした生徒も一部認められたものの、こうした生徒は僅少であった。その後、「全身に血液を送る」という心臓の役割に関する生徒の発言から、小学校第6学年の理科教科書の記述「血液は、血管の中を流れ、全身をめぐる」を取り上げ、この記述に含まれる「全身」には、心臓自身、つまり心筋も含まれるか否かを尋ね、既習事項の適応範囲の拡大を図った。

引き続き、心臓自身も血管を流れる血液によって栄養や酸素を得ていることをクラスで確認後、大動脈に冠状動脈が繋がりを、右心房に冠状静脈が繋がっていることが視覚的に分かりやすい、冠状動脈・静脈モデル（模型A）を提示した（図7の左側）。さらに、このモデルを指して「何のモデルか？」を尋ねたところ、「心臓の形に似ている」、「大静脈や大動脈がある」等の発言があり、心筋をとりまく血管のモデルであることを確認した。しかしながら、このモデルでは、この血管が心臓の外側にあるか内側にあるのかがわからないことを指摘し、心筋が透明なプラスチックで表現され、その外側を冠状血管系が張り巡っている様子が分かりやすい心臓・透明型モデル（模型B）を提示して、

再度班で考察を行わせた（図7の右側）。なお、両モデルについて、静止画と共に、360度回転させた動画を、モニター等で投影させたり、それらを各生徒の端末で見られるようにしたりして、生徒ごと当該のモデルを観察できるようにした（図8）。

各生徒がこれらのモデルを活用して、課題に対する予想を再度検討したのち、班ごと議論を行った。各班の回答は、図9に示した通りであり、例えば3班は、「心臓の外側の毛細血管や大動脈から酸素や栄養を得ている。不要な物は毛細血管や大静脈で排出している。（図9上段右）」と回答している。正確には冠状静脈は大静脈ではなく、右心房と繋がっているのではあるが、心筋が冠状血管系によって代謝を行っていることへの認識が垣間見える回答をしていた。また、5班は、「心臓の外側にある血管によって養分や酸素を取り入れ、不要物を排出する。（図9下段中央）」とし、心臓が外側の血管から代謝を行っていることを指摘する回答も見られた。6班の「動脈から毛細血管に送られて、心臓に酸



図7：模型A：左側，模型B：右側



図8：模型A・Bの静止画や動画での確認

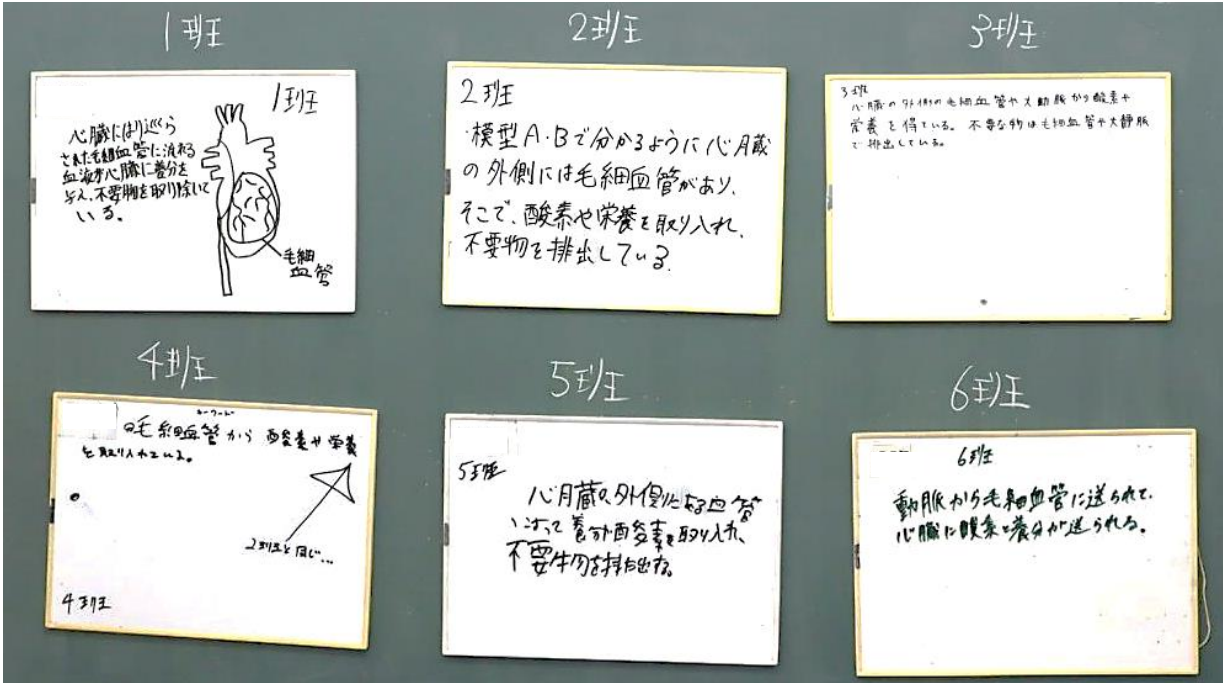


図9：ステップ2-bの課題に対する班ごとの回答

素と養分が送られる。(図9下段右)」は、心筋をとりまく血管に着目した回答であり、心筋の代謝に関する科学的認識の一端が垣間見えた。

一方、多くの班で、毛細血管に関する記述が認められ、冠状動脈・冠状静脈を毛細血管と捉えている可能性があった。そこで、毛細血管の細さと、それをモデルにできるか否かを問い、モデルでは記されていないものの、実際には動脈と静脈は毛細血管で繋がっていること等も確認し、両者の違いについて補足した上で、授業のまとめに繋げた。

6 理科授業実践の評価

6.1 質問紙調査の概要

本実践の評価は、質問紙調査で行っており、表2に示した通り、計5つの質問(質問1～5)で構成される(佐藤, 2022)。各質問に対する回答を、4つの選択肢(1.はい、2.いいえ、3.わからない、4.他の考え)から一つ選んでもらい、その理由を尋ねた。なお、質問4で「2.いいえ」、質問5で「1.はい」を選択した生徒には、追加の質問への回答を求めた。一枚目の質問紙(質問1～3)への回答後、二枚目の質問紙(質問4・5)への回答を求めた。

表2：提示した質問文と調査内容

提示した質問文	調査内容
1. あなたの心臓は、筋肉でできていますか。	心臓のつくり
2. あなたの心臓は、動いていますか。	心臓の拍動の有無
3. あなたの心臓が動くために、必要なものはありますか。	心臓の拍動に必要なものの有無
4. あなたの心臓が動くために、必要な養分は、すべて心臓でできますか。	心筋への養分の運搬
「いいえ」と答えた方へ 必要な養分は、心臓まで、どこからどのようにして運ばれますか。	
5. あなたの心臓が動くために、必要な養分は、すべて心臓でできますか。	心筋への養分の運搬
「はい」と答えた方へ 必要な養分は、心臓まで、どこからどのようにして運ばれますか。	

6.2 調査結果

6.2.1 質問1～3の調査結果

質問1～3に対する実践前後の調査結果は、表3の通りである。一覧すれば分かるように、質問1（心臓のつくり）について、実践前では「いいえ」と「わからない」と回答した生徒が半数を超えていた。また、質問2（心臓の拍動の有無）で、全生徒が、心臓は動いていると回答しているものの、質問3（心臓の拍動に必要なものの有無）において、「わからない」とする生徒が30%近くを占めた。

その一方、実践後では、質問1～3のいずれの回答でも、ほぼ全生徒が正答選択肢を回答していた。以上の結果より、心筋の代謝の認識の前提となる知識・思考等については、概ね育成することができたものと考えている。

表3：質問1～3の実践前後の単純集計

質問項目		人数（％）		
		はい	いいえ	わからない
質問1	前	10（46）	3（14）	9（40）
	後	21（96）	1（4）	-
質問2	前	22（100）	-	-
	後	22（100）	-	-
質問3	前	14（64）	2（9）	6（27）
	後	22（100）	-	-

6.2.2 質問4の調査結果

表4には、質問4（心筋への養分の運搬）に関する実践前後の単純集計の結果を示した。一覧すれば分かる通り、実践前後で、正答選択肢「いいえ」の回答者が14%増加した。

また、質問4で「いいえ」と回答した生徒（実践前：15名、実践後：18名）に、必要な養分の心筋までの運搬方法を尋ねると、例えば、「大動脈から毛細血管にいった心臓へ…＜後略＞…。（生徒4：実践後）」や「動脈と心臓の毛細血管がつながっていて動脈から…＜中略＞…運ばれてくる。（生徒10：実践後）」のような回

表4：質問4の実践前後の単純集計

質問項目		人数（％）		
		はい	いいえ	わからない
質問4	前	-	15（68）	7（32）
	後	2（9）	18（82）	2（9）

答が認められた。いずれの回答も心筋までの養分の運搬について述べられており、心筋の代謝に関する科学的認識の一端が窺えた。上述のように、「動脈」や「毛細血管」の用語のいずれか、もしくは両方を用いて、心筋までの養分の運搬について記された回答は、実践前では皆無であったものの、実践後では全体の半数程度に増加した。

一方、「場所は良く分からないけど、血液を通して心臓へはこばれると思うから。（女1：実践前）」のように、血液による養分の運搬に言及した回答は、実践後で3名に留まった。血管を流れる血液を介して、心筋に養分等が供給されていることを、正しく認識させていく必要がある。

6.2.3 質問5の調査結果

質問5（心筋からの不要物の運搬）に関する実践前後の単純集計を、表5に示す。正答選択肢である「はい」の回答者は、実践前後で50%増加していることが分かる。

また、質問5で「はい」を回答した生徒（実践前：9名、実践後：20名）に、不要なものの心筋からの運搬方法を尋ねると、例えば、「…＜前略＞…心臓の外に張り巡らされている毛細血管を通じて、大静脈に合流し…＜後略＞…。（生徒11：実践後）」や「不要なもの、心臓の外側にある毛細血管から、大静脈をとって運ば

表5：質問5の実践前後の単純集計

質問項目		人数（％）		
		はい	いいえ	わからない
質問5	前	9（41）	5（23）	8（36）
	後	20（91）	2（9）	-

れる。(生徒5:実践後)」等の回答が表出した。質問4と同様に、「静脈」や「毛細血管」の用語のいずれか、もしくは両方を用いて、心筋からの不要物の運搬について記された回答は、実践前では皆無であったが、実践後では全体の約半数に上り、認識の向上も認められた。

しかしながら、「心臓がだした不要物は、…<中略>…心臓が血液をおくりだすときに血液といっしょにまざっておくりだされて運ばれていると思います。(生徒18:実践前)」のように、血液に言及した生徒は、実践後でも2名と僅かであった。

7 結語に変えて

本稿では、ヒトの循環系の中でも主にヒトの心筋の代謝に着目して、理科授業実践を行った。本実践後に、約半数の生徒が、動脈や静脈、毛細血管等の用語を用いて、心筋への養分の運搬や心筋からの不要物の運搬について説明ができるようになった。

一方、心筋の代謝に関して「血液」という用語を用いた説明や、養分や不要物の流入・流出に関わる他の器官系(呼吸系、消化系等)との連関を記す回答が少なかった。血液を介した養分や酸素の運搬について、血液の成分について触れながら学習を進めたり、他の器官系との連関や、その指導順序等について、再度考察したりする必要がある。次年度以降の課題とさせていただきたい。

【引用文献】

- Arnaudin, M.W., & Mintzes, J.J. (1986). The Cardiovascular System: Children's Conceptions and Misconceptions. *Science and Children*, 23(5), 48-51.
- Caifeng Zhao., Sham Zhang., Huanhuan Cui., Wenjie Hue. & Guo Dai. (2023). Middle school student's alternative conception about the human blood circulatory system using four-tier multiple-choice tests. *Journal of Biological Education*, 57(1), 51-67.
- 久松一恵・伊藤幸子・天野洋子 (1983) 「健康

教育の媒体としての心臓血管系模式図について」『民族衛生』第49巻, 第1号, 2-15.

文部科学省 (2019) 『中学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説 理科編』学校図書.

Reiss, M.J., Tunnicliffe, S.D., Andersen, A.M, Bartoszeck, A., Carvalho, G.S., Chen, S.Y., Jarman, R., Jónsson, S., Manokore, V., Marchenko, N., Mulemwa, J., Novikova, T., Otuka, J., Teppa, S., & Roy, W.V. (2002). An international study of young peoples' drawing of what is inside themselves. *Journal of Biological Education*, 36(2), 58-64.

佐々木智謙・佐藤寛之・飯田萌加・松森靖夫 (2019) 「ヒトの心臓内部、及び心臓に繋がる血管の血流の向きに関する認識状態の分析: 小・中学生を対象にして」『山梨大学教育学部紀要』第30巻, 91-101.

佐々木智謙・飯田萌加・松森靖夫 (2020) 「ヒトの心臓の位置に関する小・中学生の認識状態について」『山梨大学教育学部紀要』第31巻, 93-100.

佐藤蓮太・佐々木智謙・杉山雅俊・松森靖夫 (2022) 「ヒトの心筋の代謝に関する認識状態の分析—中学校第1学年を対象にして—」『日本理科教育学会第61回関東支部大会 (東京学芸大会) 発表要旨集』 27.