

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 －

Analysis of Elementary and Junior High School Students' Understanding
of the Routes of Blood Flows in the Human Heart

佐々木 智 謙 佐 藤 寛 之 飯 田 萌 加 松 森 靖 夫
Tomonori SASAKI Hiroyuki SATO Moeka IIDA Yasuo MATSUMORI

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 －

Analysis of Elementary and Junior High School Students' Understanding of the Routes of Blood Flows in the Human Heart

佐々木 智 謙 佐藤 寛 之 飯田 萌 加* 松森 靖 夫
Tomonori SASAKI Hiroyuki SATO Moeka IIDA Yasuo MATSUMORI

I. はじめに

我が国の学校理科において、ヒトの循環系については、小学校第6学年単元「人の体のつくりと働き」及び中学校第2学年単元「動物の体のつくりと働き」において取り扱われている（文部科学省，2008a；文部科学省，2008b）。具体的には、各学年の理科学習指導要領解説において、「心臓の動きと血液の流れとを関係付けながらとらえるようにする（文部科学省，2008a）」ことや、「血液の循環経路の模式図による学習などを行い、血液循環の意義を理解させるようにする（文部科学省，2008b）」ことが明記されている。引き続き、平成29年度告示の学習指導要領においても、上述した循環系に関する学習は、対象学年や扱う内容に大きな異同はなく、これまでと同様に重要視されている（文部科学省，2017a；文部科学省，2017b）。

また並行して、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、Arnaudin & Mintzes (1986) は、米国の第5・8学年の子ども（約200人）を対象にして、血液循環に対する認識調査を行い、体循環や肺循環等に関する低い認識状態を指摘している。また、我が国においても、久松・伊藤・天野（1983）は、小学校第6学年（179人）、中学校第1学年（116人）・第3学年（75人）、高等学校第2学年（117人）、文科系大学第1学年（709人）、及び体育系大学第4学年（176人）を対象にして、体循環と肺循環に関する認識を調査して、その非科学性を指摘している。

ところで、上述した内外の既存研究では、主に心臓と全身、及び心臓と肺との血液の授受（体循環や肺循環）に着目して、子どもや大学生等の認識状態を報告している。その一方で、体循環や肺循環の起点となる心臓内部等の血流に関する認識状態の把握を試みた既存研究はほとんど見当たらず、僅かに佐々木・佐藤・松森（2017）が挙げられる程度である。しかしながら、この佐々木らによる既存研究であっても、ヒトの心臓の血流経路に対する小学校教員志望学生の低い認識状態を報告しているものの、対象は大学生のみであり、循環系について学習前後の子どもの認識には言及されていない。加えて、小学校教員志望学生の低い認識状態の原因が、小・中学校理科学習指導自体にあったのか、もしくは小・中学校理科の段階で達成された科学的認識が長期記憶に至らなかったのか等も判然としない。そこで、本稿では、小・中学生を対象にして、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を調査し、その結果を分析することとした。

II. 調査実施の概要

1. 調査目的

循環系に関する学習前後の小・中学生を対象にして、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を調査する。

2. 調査時期と対象

2018年7月から8月にかけて、山梨県内の小・中学生計326人（小学校第5学年：計100人、中学校

* 多摩市立豊ヶ丘小学校

第1学年：計128人，及び中学校第3学年：計98人）を対象にして，調査を実施した。なお，以降，本稿では調査対象の学年を，それぞれ小5，小6，及び中3と略記する。

3. 調査内容与方法

調査内容は，ヒトの心臓内部，及び心臓に繋がる血管の血流の向きについて尋ねるものである。具体的には，図1の質問紙（使用時はA4判に拡大）に示したように，心臓の描画（断面図）に加筆した矢印の先端部の破線を実線でなぞるとともに，回答理由の記述を求めるものである。回答に際しては，制限時間を設けずに，必要なだけ与えた。なお，図1の質問文，及び心臓に関する描画は，佐々木・佐藤・松森（2017）をもとに，一部改変して作成した。

III. 調査結果とその分析

1. 科学的正誤の判断基準，及び正答基準に対する基本的視座

まず，子どもの回答分析に当たる前に，回答に対する科学的正誤を判断する基準を明らかにする必要がある。そこで，文部科学省検定済の全ての小・中学校理科教科書を精査したところ，いずれの理科教科書においても，心臓内部，及び心臓に繋がる血管に関する描画（内部に添えられた血流の向きを示す矢印も含む）とともに，血流の向き等に関する説明が記載されていた（例えば，表1）。そのため，本研究では，これらの説明等を参考にしながら，正答基準を作成した。具体的には，まず心臓内部，及び心臓に繋がる血管の血流の向きを全て正しく回答した上で，理由として，「心臓上部の2部屋（心房）には血液がもどってくること」，「心臓下部の2部屋（心室）からは血液が送り出されること」，及び「心臓内部や血管にある弁は，血液の逆流を防ぐはたらきがあること」という3種類の意味内容が最低限読み取れる回答を完全正答とした。

ところで，既述したように，学校理科における循環系の学習は小6から展開されており，かつ，小学校理科教科書中では心臓の断面図等の描画内に弁が描かれているものの，弁自体の言語ラベルやその説明等が省略されている教科書も散見される（発展的学習等では，心臓内部，及び心臓に繋がる血

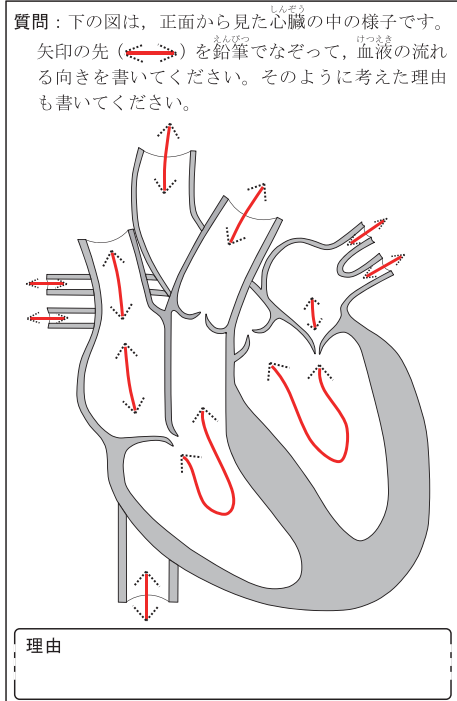


図1：血流の向きを尋ねる質問紙（佐々木ら（2017）から引用，一部改変）

表1：小・中学校理科教科書中の心臓や心臓に繋がる血管の血流の向きに関する描画や記述説明

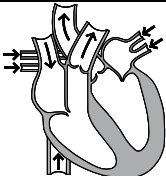
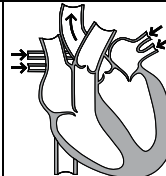
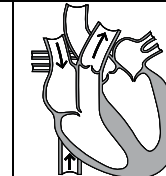
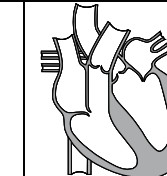
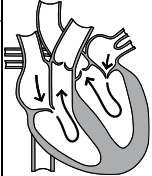
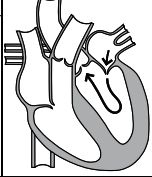
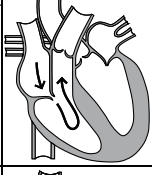
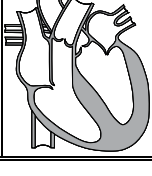
	小学校理科教科書 『新編新しい理科 6』（毛利ほか，2018）	中学校理科教科書 『新版理科の世界 2』（有馬ほか，2018）
理科教科書中の描画や記述説明	<p>人の心臓は，4つの部屋に分かれていて，それぞれの部屋は，心臓の筋肉のはたらきによって，規則正しく動いています。この動きによって，全身や肺から流れてきた血液が心臓に流れこみ，一方で血液を全身や肺に送り出しています。</p>	<p>図18 ヒトの心臓のはたらき</p> <p>① 心臓が縮むと血液が心臓に流れこむ。 ② 心臓が縮んで心室が広がると，血液は心室へと移る。 ③ 心室が縮むと，血液が心臓の外に押し出される。</p> <p>心臓は左右2つのポンプからできていて，それぞれ心房と心室からできている。心房は血液が流れこむ部分であり，心室は血液を送り出す部分である。心房と心室は筋肉でできていて，縮んだり広がったりをくり返しながら，血液を送り続けている。心房と心室，心室と血管の間には，血液の逆流を防ぐ弁がある。</p>

管の血流に関する内容について扱われている)。そのため、小5や中1の場合、上述した正答基準の内容を、科学用語等(心房、心室、及び弁等)を用いて過不足なく説明すること自体が困難な子どもの存在も予想に難くない。したがって、各学年の回答分析に際して、正答基準に準拠する一方、科学用語を用いていない記述であっても、正答基準と同様の意味内容が読み取れる場合には正答に含めた。

2. 心臓や心臓に繋がる血管の血流の向きに関する回答の類型化

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子どもの回答は多様であったため、類型化の作業を試みた。具体的には、表2に示したように、心臓内部(心房・心室)の血流の向きの正誤(表2の縦軸、1~4)、及び心臓に繋がる血管(動脈血が流れる「肺静脈・大動脈」、及び静脈血が流れる「大静脈・肺動脈」)の血流の向きの正誤(表2の横軸、A~D)に基づいて行い、その結果、便宜的に計16種類の類型(類型1-A~4-D)に大別できた。

表2：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類型 人数(%)

心臓に繋がる血管の 類型		A 肺静脈・大動脈：○ 大静脈・肺動脈：○		B 肺静脈・大動脈：○ 大静脈・肺動脈：×		C 肺静脈・大動脈：×		D 肺静脈・大動脈：×		合計
		大静脈・肺動脈：○		大静脈・肺動脈：×		大静脈・肺動脈：○		大静脈・肺動脈：×		
心臓内部 (心房・心室)の類型										
1 右心房・右心室…○ 左心房・左心室…○		小5		2 (2.0)		1 (1.0)		7 (7.0)	10 (10.0)	
	中1			6 (4.7)		9 (7.0)		16 (12.5)	31 (24.2)	
	中3		7 (7.2)	10 (10.2)		17 (17.3)		15 (15.3)	49 (50.0)	
2 右心房・右心室…×		小5						9 (9.0)	9 (9.0)	
	中1			2 (1.6)				18 (14.1)	20 (15.7)	
	中3			1 (1.0)				9 (9.2)	10 (10.2)	
3 右心房・右心室…○ 左心房・左心室…×		小5	1 (1.0)			5 (5.0)		15 (15.0)	21 (21.0)	
	中1					9 (7.0)		27 (21.1)	36 (28.1)	
	中3					9 (9.2)		18 (18.4)	27 (27.6)	
4 右心房・右心室…×		小5						60 (60.0)	60 (60.0)	
	中1							41 (32.0)	41 (32.0)	
	中3							12 (12.2)	12 (12.2)	
合計		小5	1 (1.0)	2 (2.0)		6 (6.0)		91 (91.0)		
		中1	0 (0.0)	8 (6.3)		18 (14.0)		102 (79.7)	326	
		中3	7 (7.2)	11 (11.2)		26 (26.5)		54 (55.1)		

注) 尚、ヒトの心臓内部、及び心臓に繋がる血管に関する描画に添えられた矢印は、正答のみを示している。

3. 単純集計

表2を一覧すると分かるように、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計16種類の類型のうち、該当者が存在した類型は計10種類（類型1-A～1-D, 2-B, 2-D, 3-A, 3-C, 3-D, 及び4-D）であった。さらに、血流の向きに関する完全正答者（類型1-A）は、小5・中1では皆無であり、小・中学校理科において循環系を既習の中3であっても10%にも満たない結果となった。また、心臓内部（心房・心室）のみに着目してみても、正答者（類型1-A～1-Dの該当者）は、小5で10%、中2で約25%、及び中3でも半数のみであった。一方、心臓に繋がる血管のみに限った場合でも、正答者（類型1-A～4-Aの該当者）は小5と中3のみであり、かつ10%未満と低率であった。

また、計4の弁（僧帽弁、三尖弁、大動脈弁、及び肺動脈弁）に逆行する血流の向きを一箇所でも記していた子どもは、小5で93人（93.0%）、中1で102人（79.7%）、及び中3で52人（53.0%）に上った。中3であってもその約半数が、弁の構造に基づく判断に至らなかったことが明らかになった。さらに、計12箇所の矢印のうち、無回答箇所（矢印の両端の破線をどちらもなぞっていない箇所）を1箇所でも含む回答は、小5で23人（23.0%）、中1で5人（3.9%）、及び中3では2人（2.0%）であった。勿論、この中には血液が流れていないと考える子どもの存在も想定されるが、特に小5では回答理由欄が無記入の子どもも相当数存在（約48%）している。したがって、回答根拠を持ち合わせていないことから、血流の向きを回答できなかったということも十分考えられる。このように、循環系に関する学習状況の異同に関わらず、小・中学生の極めて低い認識状態が判明した。

4. 回答理由の類型化

血流の向きに対する子どもの回答と同様、その回答理由も実に多様であった。そのため、分析に当たっても、血流の向きと同様、執筆者の合意に基づきながら、類似した回答理由をひとまとまりにして類型化した。その結果、子どもの回答理由は、計8種類の類型（類型a～h）に分類された。なお、計8種類の類型には、計12種類の下位類型（下位類型a-ア～a-カ、b-ア～b-イ、及びc-ア～c-エ）が含まれる。

具体的には、類型a：血液の流入・流出（下位類型a-ア：血管から心房への血液の流入、a-イ：心房から血管への血液の流出、a-ウ：血管から心室への血液の流入、a-エ：心室から血管への血液の流出、a-オ：漠然とした血液の出入り、a-カ：その他の決まりに基づく血液の出入り）、類型b：構造（下位類型b-ア：弁の構造、b-イ：血管（動脈・静脈）・血管の太さ）、類型c：機能や性質（下位類型c-ア：ポンプ、c-イ：血液の性質（動脈血・静脈血）、c-ウ：血液の浄化、c-エ：他の臓器（肺や腸等）の機能）、類型d：他の臓器等との位置関係、類型e：アナロジー（ポンプ、魚の捕集器等）、類型f：見聞経験、類型g：トートロジー・当て推量、及び類型h：無回答に分類された。なお、科学的に正しい回答理由は、上記Ⅲ.1で既述した正答基準の意味内容を包含する3種類の下位類型（a-ア、a-エ、及びb-ア）をいずれも満たす説明とした。表3は、表2に示したヒトの心臓内部、及び心臓に繋がる血管の血流の向きに関する類型（該当者が存在した計10の類型：1-A～1-D, 2-B, 2-D, 3-A, 3-C, 3-D, 及び4-D）を縦軸とし、その回答理由の類型（計17の類型：a-ア～h）を横軸として、クロス集計したものである。

5. 回答理由の分析

(1) 回答理由の分析についての制約

本調査では、時間的な制約等もあり、子どもに問うた計12の血流の向きについて、個別に回答理由を尋ねているわけではない。そのため、各部（計12）の血流の向きに対する子どもの判断と、回答理由との対応関係を読み取ることは難しい。また、表3を一覧すると分かるように、血流の向きに関する各類型には、同一の回答理由が該当する場合も多い。例えば、血流の向きに関する類型1群（1-A, 1-B, 1-C, 及び1-D）では、心臓内部の血流の向きが全て正しい類型群であるため、弁の構造に着目している説明が多く、いずれも回答理由の類型はb-ア（弁の構造）に該当するのである。そこで、次節以降では、子どもが血流の向きを判断する際に依拠した回答理由の諸特徴について概観しながら、分析を加えていく。

表3：ヒトの心臓内部，及び心臓に繋がる血管の血流の向きと回答理由とのクロス集計 延べ数 (%)

回答理由の類型 血流の向きに関する類型	a: 血液の流入・流出						b: 構造		c: 機能や性質				d: 他の臓器等との位置関係	e: アナロジー (ポンプ, 魚の捕集器等)	f: 見聞経験	g: トートロジー・当て推量	h: 無回答	科学的に正しい回答理由 (a・ア+a・エ+b・ア)
	ア: 血管から心房への血液の流入	イ: 心房から血管への血液の流出	ウ: 血管から心室への血液の流入	エ: 心室から血管への血液の流出	オ: 漠然とした血液の出入り	カ: その他の決まりに基づく血液の出入り	ア: 弁の構造	イ: 血管 (動脈・静脈・血管の太さ)	ア: ポンプ	イ: 血液の性質 (動脈血・静脈血)	ウ: 血液の浄化	エ: 他の臓器 (肺や腸等) の機能						
1-A	小 5																	
	中 1																	
	中 3					1	5	2										1
1-B	小 5																	2
	中 1				1	1	5	1					1					
	中 3	1	1		1	2	2	2						1	3			
1-C	小 5																	1
	中 1				1	1	5									2		
	中 3				3	6	10	1		1				1	1	1		
1-D	小 5				1													6
	中 1				3	3	1							1	1	6	3	
	中 3				1	1	11							1	1			
2-B	小 5																	
	中 1					1			1									
	中 3															1		
2-D	小 5				2	4										2	2	
	中 1				9	3							1	1	3	1		
	中 3				3	5		1		1				1	1			
3-A	小 5	1		1														
	中 1																	
	中 3																	
3-C	小 5				1	1												3
	中 1				3	5											1	1
	中 3				2	4			1	3						2		
3-D	小 5				1	2	1						1			2	8	
	中 1				5	8						1		1	2	8	2	
	中 3				5	10		1	1	1	1			1	2	3		
4-D	小 5				7	21		2		1	2		4		1	1	26	
	中 1				12	7		1	1			2		3	1	13	4	
	中 3				2	8						1				2	1	
合計	小 5	1 (1.0)		1 (1.0)	12 (12.0)	28 (28.0)	1 (1.0)	2 (2.0)		1 (1.0)	2 (2.0)		5 (5.0)		1 (1.0)	5 (5.0)	48 (48.0)	
	中 1				34 (26.7)	29 (22.7)	11 (8.6)	2 (1.6)	2 (1.6)			3 (2.3)		7 (5.5)	5 (3.9)	33 (25.8)	11 (8.6)	
	中 3	1 (1.0)	1 (1.0)		18 (18.4)	36 (36.7)	28 (28.6)	7 (7.1)	2 (2.0)	6 (6.1)	1 (1.0)	1 (1.0)		2 (2.0)	6 (6.1)	14 (14.3)	2 (2.0)	

(2) 類型a：血液の流入・流出

心臓における血液の出入り（流入・流出）に言及した説明が該当する。さらに、本類型は、科学的に正しい回答理由の一部（計2の下位類型：a-ア、及びa-エ）を含む計6の下位類型からなる。

①下位類型a-ア：血管から心房への血液の流入

本類型は、科学的に正しい回答理由の一部に該当し、血管（もしくは肺や全身）から血液が流れこむ場所として、具体的に心房（もしくは心臓上部2部屋）を挙げている説明である。小5（血流の向き：3-A）、中3（1-B）に1人ずつ存在した（表3）。

図2は中3の回答例である。血管から心房に血液が流れること（動脈→右心房）に言及しているものの、正しくは静脈→右心房であり、また心室に関する説明も欠落している等、非科学的な内容を含む説明であった。さらに、小5の回答理由にも、血管から心房への血液の流入に関する内容（大静脈→左心ぼう、肺静脈→右心ぼう）が認められた（図3）。未習にも関わらず科学用語を使用して説明している点は特筆に値するが、各血管と心臓内部の部屋との対応関係には、いずれにも誤りが認められた。また、理由は判然としないが、左心房・左心室の血流の向きが無記入であった。

このように、上述した2人の回答理由には、非科学的な説明が含まれていたものの、いずれも血管から心房へと血液が流入することに言及していた。換言すれば、血管から心房に血液が流入することを意識して回答に至った子どもは、この僅か2人のみであり、既習の中3であっても、ほとんど認識されていないことが明らかになった。

②下位類型a-イ：心房から血管への血液の流出

下位類型a-アとは反対に、心房から血管に血液が流れていることに言及した回答理由であるが、本類型の該当者も、下位類型a-アで取り上げた中3（図2）の1人のみであった（表3）。既述した通り、心室に関する言及は認められず、心房から血管（左心房→動脈）に血液が流れるとする非科学的な説明であった。

③下位類型a-ウ：血管から心室への血液の流入

血管から心室に血液が流入するという回答理由であり、下位類型a-アにも属する小5（図3）の説明のみ（1人）が該当した（表3）。血管から心室（大動脈→右心室、及び肺動脈→左心室）への血液の流入に言及しているものの、正しくは右心室→肺動脈、左心室→大動脈であり、誤認識を含む説明であった。未習であるため致し方ないものと推察されるが、血液は大動脈を経由して全身に送り出された後に大静脈を経由して右心房に流入することや、肺動脈を経由して肺に送り出された後に肺静脈を経由して左心房に流入すること等を認識できていない。

④下位類型a-エ：心室から血管への血液の流出

本類型は科学的説明の一部であり、血液は心室（心臓下部2部屋）から血管（もしくは肺や全身）へと送り出されることに言及した回答理由であるが、該当者は皆無であった。（表3）。本調査課題では、心室や動脈における血流の向きは、弁の開く向きから判断可能なため、敢えてこのことに言及しなかった子どもの存在も想定される。しかしながら、血液を送り出す起点となる心室を取り挙げて血流の向きを説明する子どもが認められないことは、下位類型a-アと同様、極めて低い認識状態にあることを示唆するものである。

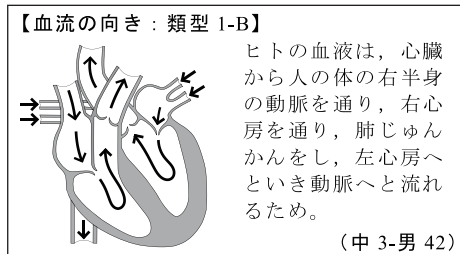


図2：下位類型a-ア(回答理由)の回答例1
(下位類型 a-イにも該当)

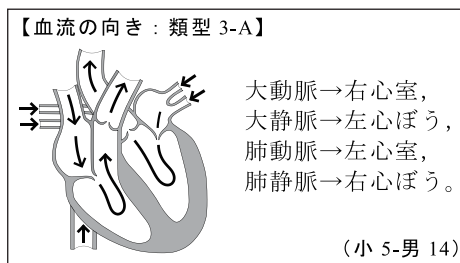


図3：下位類型a-ア(回答理由)の回答例2
(下位類型 a-ウにも該当)

⑤下位類型a-オ：漠然とした血液の出入り

本類型には、小5で12.0% (血流の向きの類型：1-D, 2-D, 3-C, 3-D, 及び4-D), 中1で26.7% (1-B, 1-C, 1-D, 2-D, 3-C, 3-D, 及び4-D), 及び中3で18.4% (1-A, 1-B, 1-C, 1-D, 2-D, 3-C, 3-D, 及び4-D) 存在した (表3)。例えば、図4のように、何らかの決まりや根拠を示すことなく、漠然と心臓に血液が出入りすることを説明している中1の回答理由を挙げることができる。また、この中1の場合、左心房に左右から各2本ずつ繋がる肺静脈の血流の向きを貝類の入水管や出水管のように互い違いに示したり、心室にとりこんだ血液を両方向に送り出すように示したりしている。このように、本類型の該当者の場合、科学的正誤はさておき、血液の出入りは示されているが、その論拠については曖昧模糊とした説明が多く存在した。

⑥下位類型a-カ：その他の決まりに基づく血液の出入り

血液の出入りに関する子どもなりの恣意的な決まりに基づいて、血流の向きを説明する回答理由である。小5で28.0% (血流の向きの類型：2-D, 3-C, 3-D, 及び4-D), 中1で22.7% (1-B, 1-C, 1-D, 2-B, 2-D, 3-C, 3-D, 及び4-D), 及び中3で36.7% (1-B, 1-C, 1-D, 2-D, 3-C, 3-D, 及び4-D) に上った (表3)。全ての学年で20%以上存在し、中3に至っては40%近くにも及んだ。

具体的な記述の中には、「一方向性」、「双方向性・全方向性」、「上下・左右・内外の方向性」、及び「循環」のように、便宜的な言語ラベルを彷彿とさせるような説明が散見された。例えば、「一方向性」は、血液は一方向に流れることに依拠した回答理由が該当する。具体的には図5 (中1) を挙げることができ、血流の向きを体の左斜め上方向に示している。また、「双方向性・全方向性」は、血流は一方向ではなく双方向に向かうと考えている子どもであり、計12の全ての矢印の両端をなぞる回答等が含まれる (図6)。さらに、図6と同一の血流の向き (類型4-D) を示しながら、「血液は、全方向に流れていると思ったから。(小5-女60)」のように、全方向に血液が流れることに言及した回答理由も複数認められた。

一方、「上下・左右・内外の方向性」については、図7の小5のように、単純に下側から上側への方向性に依拠して血流の向きを考えている回答理由等が含まれる。その他にも、心臓の左側と右側との方向性「左から入り右にぬけていくから。(血流の向き：3-D, 中3-男32)」や、内側と外側との方向性「心臓の外側から、内側に血液が入ってくると思うからです。そして、その中に入ってきた血液が心臓の中にあると思います。(1-D, 中1-男29)」に依拠した説明が散見された。

図8は、子どもの説明中に、「循環」に関する内容が含まれている回答理由であるが、循環の意味 (逆流することなく一定の方向に流れ、一回りして元の場所に戻り、それを繰り返すこと等) を誤認

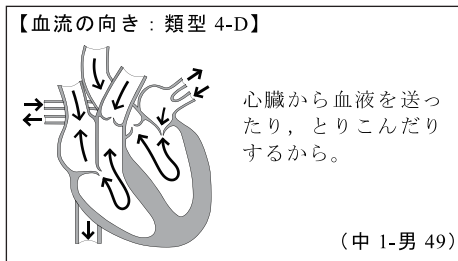


図4：下位類型a-オ(回答理由)の回答例

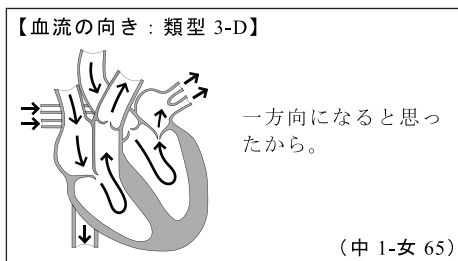


図5：下位類型a-カ(回答理由)の回答例1

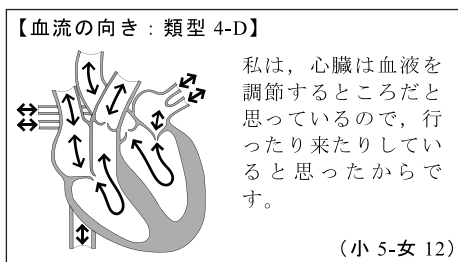


図6：下位類型a-カ(回答理由)の回答例2

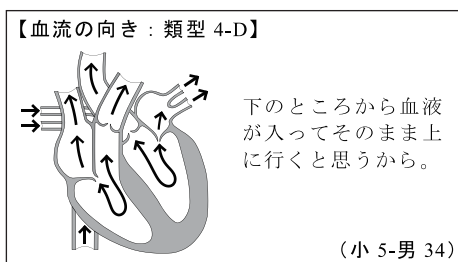


図7：下位類型a-カ(回答理由)の回答例3

識しており、図4と同様に、心室では両方向に血流の向きを示したり、左右の肺静脈では血液が入り出すように血流の向きを示したりしている。また、中3の「体循環や肺循環と同じ。(血流の向き:3-D, 中3-女36)」という回答理由も認められたが、体循環や肺循環に言及するに留まる不十分な説明であり、それらに基づく正しい血流の向きは示されていなかった。このように、何らかの決まりや論拠に基づく多様な回答理由が存在したものの、血液の流入・流出に関わる心臓内部の部屋や、弁の構造等には着目しておらず、不十分な説明や非科学的な説明であった。

(3) 類型b: 構造

科学的に正しい回答理由の一部(下位類型b-ア)を含む、計2の下位類型からなる。心臓内部、及び心臓に繋がる血管の構造に着目した回答理由である。

① 下位類型b-ア: 弁の構造

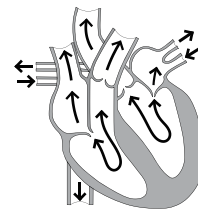
弁の構造に依拠した回答理由であり、小5で1.0%(血流の向きの類型:3-D)、中1で8.6%(1-B, 1-C, 及び1-D)、及び中3で28.6%(1-A, 1-B, 1-C, 及び1-D)が該当した(表3)。前述したように、心臓内部の血流の向きが正答である類型1群(1-A, 1-B, 1-C, 及び1-D)の回答理由中に、主に認められたものである。循環系について未習の小5であっても、図9のように弁に言及した子どもが認められた。しかしながら、計4の弁のうち、左心房・左心室間の弁(僧帽弁)では、弁を逆行する血流が示されており、弁の構造や機能に対する認識が不完全であることが読み取れる。上記Ⅲ.3.において、中3の半数以上が、弁に逆行する血流の向きを示していたことを指摘したが、本類型に該当する中3が30%に満たないことから領けるところである。

② 下位類型b-イ: 血管(動脈・静脈)・血管の太さ

本類型には、小5で2.0%(血流の向きの類型:4-D)、中1で1.6%(1-B, 及び4-D)、及び中3で7.1%(1-A, 1-B, 1-C, 2-D, 及び3-D)が該当した(表3)。例えば、図10の中3の回答理由を挙げることができ、体の右側(描画上では左側)の心臓部分に存在する血管(上大静脈, 大動脈, 及び右肺からの肺静脈)を動脈, その逆の血管(肺動脈, 及び左肺からの肺静脈)を静脈と捉えている。そして、単純に描画上の位置関係で血管の種類を決めており、その血管の種類により血液の向きを判断しているのである。

また、血管の太さで血流の向きを判断する回答も存在しており、図11(中3)では、細い血管→太い血管に至る血流の向きを記している。一方、これとは逆に、中1の回答理由「血管が大きいと血液が通りやすい。(血流の向き:4-D, 中1-生徒54)」のように、太い血管→細い血管への血流の向きを示す説明も存在した。いずれも、描画上の血管の太細に依拠して血流の向きを判断した非科学的な説明であった。

【血流の向き: 類型4-D】

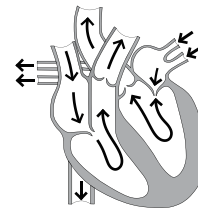


血液は、心臓の中を
じゅんかんしている
から。

(中1-女64)

図8: 下位類型a-カ(回答理由)の回答例4

【血流の向き: 類型3-D】

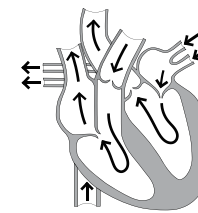


べんの向きで、方
向が分かった。

(小5-男39)

図9: 下位類型b-ア(回答理由)の回答例

【血流の向き: 類型2-D】

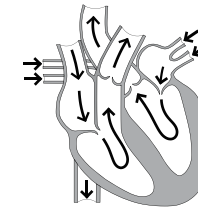


動脈と静脈があり、
左側が動脈になって
いて血液が心臓から
出ていき、反対に静
脈は血液は心臓に
戻りから。

(中3-女60)

図10: 下位類型b-イ(回答理由)の回答例1

【血流の向き: 類型1-B】



細い方から入っ
ていって太い方
から出ていく気
がするから。

(中3-男25)

図11: 下位類型b-イ(回答理由)の回答例2

(4) 類型c：機能や性質

心臓の機能や性質と血流の向きとを関連させた回答理由が該当するが、下記の通り計4の下位類型からなる。

①下位類型c-ア：ポンプ

中1で1.6% (血流の向きの類型：2-B, 及び4-D), 中3で2.0% (3-C, 及び3-D) 存在した (表3)。図12 (中1) のように、ポンプとしての心臓の機能に依拠しているものの、右心室から両方向に血流の向きを示したり、大静脈の血流の向きが逆方向であったりしており、回答理由と血流の向きとの関連性が読み取れない非科学的な回答も含まれていた。

②下位類型c-イ：血液の性質 (動脈血・静脈血)

血液の性質 (動脈血・静脈血) を回答理由にしており、該当者は、小5で1.0% (血流の向きの類型：4-D), 中3で6.1% (1-C, 2-D, 3-C, 及び3-D) が当てはまる (表3)。例えば図13の中3のように、血液の流速と血液の性質とを結びつけ、さらに両者と血流の向きとを連関させた説明等である。

しかしながら、各血管を流れる動脈血・静脈血に対する流速に対する誤認識も認められる (正しくは、肺動脈の動脈血の流速<大動脈の動脈血の流速、及び大静脈の静脈血の流速<肺動脈の静脈血の流速)。また、下位類型b-イ (図10) と同様、描画上の位置関係に依拠して血液の性質を決定しており、体の右側 (もしくは描画上の右側) を動脈血、及びその逆を静脈血が流れると捉えている等、非科学性が認められた。

③下位類型c-ウ：血液の浄化

小5で2.0% (血流の向きの類型：4-D), 中3で1.0% (3-D) に認められた (表3)。具体的には、図14の小5の回答理由であり、心臓における血液の浄化作用や母親からの伝聞経験等に依拠しながら、全ての矢印をなぞり血流の向きを示している。血液は心臓内部で浄化されながら両方向に流れるといった考えであることが推察されるが、血液が一定の方向に流れながら体内を循環していること等を認識できていないことが窺える。

④下位類型c-エ：他の臓器 (肺や腸等) の機能

血流の向きと他の臓器の機能とを関連付けた非科学的な回答理由である。中1で2.3% (血流の向きの類型：3-D, 及び4-D), 中3で1.0% (4-D) が該当した (表3)。図15の中1のように、心臓と肺の機能とを混同した説明等が相当する。その他にも、中3「心臓は栄養を中心で回収して、栄養を回収された血液が外に出ていくという仕組みだから。(4-D, 中3-男9)」のように、心臓と腸等の機能とを混同した非科学的説明も認められた。

(5) 類型d：他の臓器等との位置関係

該当者は、小5のみで5.0% (血流の向きの類型：3-D, 及び4-D) であった (表3)。図16のよう

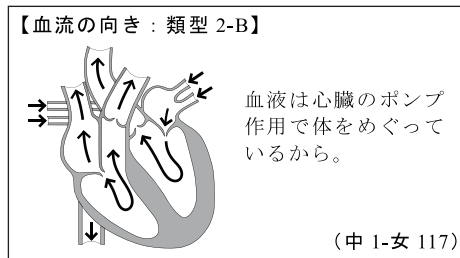


図12：下位類型c-ア(回答理由)の回答例 (類型eにも該当)

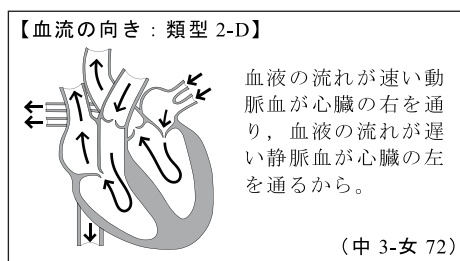


図13：下位類型c-イ(回答理由)の回答例

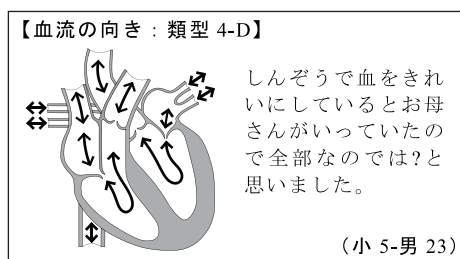


図14：下位類型c-ウ(回答理由)の回答例 (類型fにも該当)



図15：下位類型c-エ(回答理由)の回答例

な回答理由であり、心臓以外の臓器等（脳や足）の位置関係に言及しながら、血流の向きを判断したものと推察される。心臓を起点にして、かつ心臓に繋がる各血管を通して、直接、種々の臓器等と血液のやりとりをしていると考えている説明である。

(6) 類型e：アナロジー（ポンプ、魚の捕集器等）

図17の中1のように、心臓内部にある弁を、魚の捕集器であるセルピン（ピンドウ）等に見立てた回答理由が含まれる。弁という言葉ラベルは記述できていないものの、「小魚捕まえる罠みたいな形のやつ、開いているほうから血が流れやすく、しまっているほうからは、流れにくい形になっている…〈後略〉…」とあるように、描画上の弁に構造やその機能については認識しているものと推察され、心臓内部の血流の向きについても正しく示されている。しかしながら、その他の科学的説明には触れられておらず、血流の向きにも誤りが見られた。

また、前述した図12（中1）のように、心臓をポンプに例えた回答理由も、本類型に含まれる。結果として、本類型には、中1で5.5%（血流の向きの類型：1-B, 1-D, 2-D, 3-D, 及び4-D）、中3で2.0%（1-C, 及び3-D）が該当した（表3）。

(7) 類型f：見聞経験

過去の日常経験や学習経験等を拠り所とした説明であり、小5で1.0%（血流の向きの類型：4-D）、中1で3.9%（1-D, 2-D, 3-D, 及び4-D）、及び中3で6.1%（1-B, 1-C, 1-D, 2-D, 及び3-D）が含まれる（表3）。具体的には、図18の中3の回答からも分かるように、過去の理科学習の記憶を手掛かりにして説明しているものの、不正確な記憶であるため、血流の向きにも誤りが複数表出している。その他にも、中1の回答理由である「保健体育の本でみたおぼえがあるから。（4-D, 中1-男80）」を挙げることができ、保健体育科での学習経験を根拠とする説明も存在したが、図18と同様、科学的に正しく認識されておらず、血流の向きの一部は誤っていた。

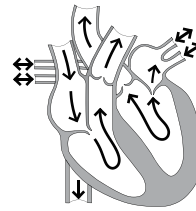
(8) 類型g：トートロジー・当て推量

結果として、小5で5.0%（血流の向きの類型：2-D, 3-D, 及び4-D）、中1で25.8%（1-C, 1-D, 2-D, 3-C, 3-D, 及び4-D）、及び中3で14.3%（1-B, 1-C, 1-D, 2-B, 2-D, 3-C, 3-D, 及び4-D）であった（表3）。具体的には図19に示す中3の回答理由のように、確固たる根拠を持ち合わせていない説明等であり、中1では約30%近くにも及んだ。血流の向きでは多数の類型に該当したが、正しい血流の向きが示されている回答（類型1-Aの該当者）は皆無であった。

(9) 類型h：無回答

本類型の該当者は、小5で48.0%（血流の向きの類型：1-B, 1-C, 1-D, 2-D, 3-C, 3-D, 及び4-D）、中1で8.6%（1-D, 2-D, 3-C, 3-D, 及び4-D）、及び中3で2.0%（1-A, 及び4-D）であった

【血流の向き：類型3-D】

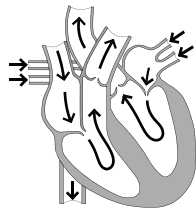


血液は、脳の方や、足の方まで、血がめぐっているから。いろんな方向に行く。

（小5-女63）

図16：類型d(回答理由)の回答例

【血流の向き：類型1-B】

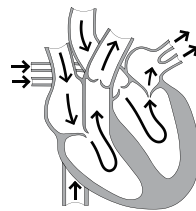




小魚捕まえる罠みたいな形のやつで、開いているほうから血が流れやすく、しまっているほうからは、流れにくい形になっていると考え、一方通行になっていると思ったから。

（中1-女26）

図17：類型e(回答理由)の回答例

【血流の向き：類型3-C】

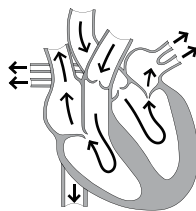


理科で、左側は、 右側は  と、血がくるくるまわっている…と学んだような気がするから。

（中3-女64）

図18：類型f(回答理由)の回答例

【血流の向き：類型4-D】



てきとう。

（中3-女92）

図19：類型g(回答理由)の回答例

(表3)。約半数近くの小5の回答理由が無記入であり、循環系について学習前の小5にとって、ヒトの心臓内部、及び心臓に繋がる血管の血流の向きについて想定すること自体の難しさを物語るものである。

(10) 科学的に正しい回答理由 (a-ア + a-エ + b-ア) について

結果として、科学的に正しい回答理由 (類型 a-ア, a-エ, 及び b-ア) を記述した説明は、いずれの学年でも皆無であった (表3)。ヒトの心臓内部、及び心臓に繋がる血管の血流の向きを全て正しく示した子どもが計7人 (10%) 存在した中3であっても、その大半は図20のように、弁の構造 (類型 b-ア) のみにしか言及できていなかった。

6. 回答結果の概要

既述したように、ヒトの心臓内部、及び心臓に繋がる血管の血流の向きを正しく回答できた子どもは中3のみであり、10%未滿しか存在せず、さらに科学的に正しい回答理由を伴う完全正答者には皆無であった。特に、血管 (もしくは肺や全身) から血液が戻ってくる心臓上部の2部屋 (心房) や、血管 (もしくは肺や全身) に血液を送り出す心臓下部の2部屋 (心室) と、血流の向きとを連関させながら回答する説明は、ほぼ皆無であった。また、弁の構造 (類型 b-ア) に着目した回答者も、既習の中3でも30%未滿という低率に留まった。このように、科学的理由付けを行い心臓内部、及び心臓に繋がる血管の血流の向きを回答する子どもは、極めて少ないことが明らかになった。

IV. 結語に変えて

本研究を通して、小・中学校理科で循環系の学習を2度経験してきた中3であっても、ヒトの心臓内部、及び心臓に繋がる血管の血流の向きに対する認識状態は低く、その科学的認識の達成は極めて難しいことが判明した。また、連動して、冒頭で述べたヒトの心臓の血流経路に対する小学校教員志望学生の低い認識状態の一因は、小・中学校理科の段階で達成された科学的認識が長期記憶に至らなかったわけではなく、小・中学校の理科学習指導自体にあることも示唆された。今後は、小・中学校における循環系に関する学習指導の実態等の把握を試みるとともに、循環系に対する認識達成を志向する学習指導方針についても再考していく必要がある。今後の自らの課題としたい。

引用・参考文献

- Arnaudin, M. W. & Mintzes, J.J. (1986) The Cardiovascular System : Children's Conceptions and Misconceptions. *Science and Children*, 23 (5), 48-51.
- 有馬朗人ほか (2018) 『新版 理科の世界2』大日本図書.
- 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, pp.2-15.
- 文部科学省 (2008a) 『小学校学習指導要領解説理科編』大日本図書.
- 文部科学省 (2008b) 『中学校学習指導要領解説理科編』大日本図書.
- 文部科学省 (2017a) 『小学校学習指導要領解説理科編』東洋館出版社.
- 文部科学省 (2017b) 『中学校学習指導要領解説理科編』学校図書.
- 毛利衛ほか (2016) 『新編 新しい理科6』東京書籍.
- Roger, A. (1977) Characteristics of Inside of the Body Test Drawings Performed by Normal School Children. *Perceptual and Motor Skills*, 44, 703-708.
- 佐々木智謙・佐藤寛之・松森靖夫 (2017) 「心臓の血流経路に関する小学校教員志望学生の認識状態について」『理科教育学研究』第57巻, 第3号, pp.213-222.

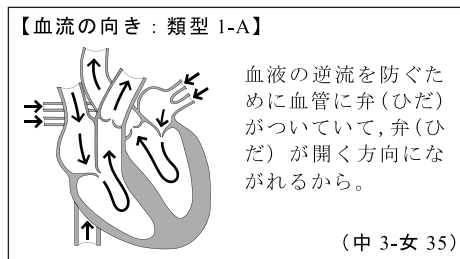


図20：血流の向きの正答例