

## PISA 数学的リテラシーと科学的リテラシーの関連性に関する研究 —「数学的な内容」の4つの領域に着目した PISA2012 の二次分析から—

渡邊 耕二 高阪 将人\*

### 要約

2018年に改訂された高等学校学習指導要領では、数学と理科を関連付け、探求を行う科目として「理数探求基礎」と「理数探求」が新設された。このように、数学と理科を関連付ける視点は、今後注目すべきものの一つである。

数学と理科の関連付けでは、関数的な考え方が重要な役割を担う。数学における関数的な考え方として「変化と対応」、「表現」、「規則性」、「活用」、理科においては、「変数を確認する」、「データを表にまとめる」、「グラフを作成する」、「変化の関係を説明する」などがキーワードとなる。

一方で、PISAの公開データを二次分析し、日本の子どもが持つ数学的リテラシーの特徴が示されつつある。しかし、数学的リテラシーと科学的リテラシーの関連性について、具体的な検討はなされていない。PISA2012の数学的リテラシーの出題項目は、「数学的な内容」として「空間と形」、「不確実性とデータ」、「変化と関係」、「量」の4つの領域に分類されている。これらの領域に着目することによって、数学的リテラシーと科学的リテラシーの関連性を検討できる。本研究では、PISAで設定された数学的リテラシーの4つの領域に着目し、日本の生徒が持つ数学的リテラシーと科学的リテラシーの関連性を明らかにする。

その結果、日本においては、関数的な考え方を含む「変化と関係」が最も科学的リテラシーと関連することが分かった。また、10カ国の国際比較分析によって、「量」も科学的リテラシーとの関連が強いことが浮かび上がった。つまり、関数的な考え方だけでなく、量の考え方も重要な役割を果たすことが示唆された。今後は、この2つの領域の公開問題を分析し、より具体的な検討が必要である。また、数学と理科における量の考え方の明確化を図らなければならない。これらへの取り組みを今後の課題とする。

**キーワード**：数学と理科の関連付け、関数の考え方、量

### 1. はじめに

グローバル化の進展や先端技術の高度化に伴い、21世紀型スキルやキー・コンピテンシーといった資質・能力の育成が求められている。そこでは、従来の教科による学習だけでなく、教科横断的な取り組みが注目され始めた。実際、2018年に改訂された高等学校学習指導要領では、数学と理科を関連付け、探究を行う科目として「理数探究基礎」と「理数探究」が新設された。ここでは、様々な事象に関わり、数学と理科の見方・考え方を組み合わせるなどして働かせ、探究の過程を通して、課題を解決するために必要な資質・能力を育成することを目指している(文部科学省, 2018, p.28)。このように、数学と理科を関連付ける視点は、今後注視すべきものの一つである。

数学と理科などの学校教育の教科は、学問が求める文化的な基礎知識が体系化されたまとまりとして編

成されてきた(安彦, 2006)。しかし, 数学と理科を関連付けて指導することによって, 豊富に関連付けられた知識構造を構築でき, 学習した知識を活用できるとされる(e.g., Berlin & White, 1995; Bossé et al., 2010; So, 2012)。例えば, 理科と関係付けて数学を指導することで, 抽象的な数学の概念の学習を促す例を提供でき, 数学と関係付けて理科を指導することで, 自然現象を定量化し, 分析するための道具が提供される(e.g., Watanabe & Huntley, 1998; Basista & Mathews, 2002; Michelsen, 2006)。また, 数学と理科を関係付けることで興味・関心を喚起できるとされ(e.g., McComas, 1993; Bragow, Gragow & Smith, 1995; Guthrie, Wigfield & VonSecker, 2000), 情意面にも関係してくる。このように, 数学と理科を関連付けることは, 豊富に関連付いた深い知識構造の構築や興味・関心の喚起へと繋がり, 教科横断的な取り組みに向けて重要な意味を持つ。

数学と理科の関連付けの核には, 関数領域が位置付くとされる(e.g., Vollrath, 1986; 小倉, 1996; 月岡ら, 2003; 高阪, 2014, 2015)。高阪(2014)は, 教科の数学と理科における関数的な考え方の対応を検討し, 数学における関数的な考え方のキーワードとして「変化と対応」, 「表現」, 「規則性」, 「活用」, 理科では「変数を確認する」, 「データを表にまとめる」, 「グラフを作成する」, 「変数の関係を説明する」を示している。また, 高阪(2015)は, 低い学力の向上を掲げているザンビア共和国において, 関数領域の内容である比例に着目し, 子どもの理科と数学の関連付けの実態を概念地図法を用いて調べ, 学力向上への示唆を得ている。

他方で, 自国の学力水準を把握する学力調査を実施する国は増加し, PISA や TIMSS に参加する国も増加傾向にある(UNESCO, 2015, p.191)。中でも PISA は, 国内外を問わず, 学校教育に大きな影響を与えている(e.g., 文部科学省, 2008, 2017; Sellar & Lingard, 2014; Nakayasu, 2016; Tasaki, 2017)。また, 収集されたデータは, OECD のウェブ上で公開されており, 多様な知見を生み出す資源として活用されている(e.g., 鈴川・豊田・川端, 2008; Hwang, 2019; 渡邊, 2020)。鈴川・豊田・川端(2008)は, 2003年に行われた PISA (以下, PISA2003)に参加した13カ国<sup>1)</sup>における数学的リテラシー調査の公開データを二次分析している。その結果, 日本の生徒は, PISA が規定した学校生活に現れるような「教育的」の文脈で問題を解く力を身に付けているが, 他の文脈では必ずしもそうではなく, 日常生活に関わるような数学の問題を解く力が弱いことを示した。また, 渡邊(2020)は PISA2003 だけでなく, PISA2012 と PISA2015 も二次分析し, 同じ13カ国を分析対象として日本の特徴の変化を調べた。日本の PISA2003 から PISA2015 の間の全体的な変化は大きくないが, 「不確実性とデータ」に部分的な変化がみられることを示した。

このように, PISA の公開データを活用して, 日本の生徒が持つ数学的リテラシーの特徴が浮かび上がりがつつある。しかしながら, 数学的リテラシーの特徴は示されつつあるものの, 数学的リテラシーと科学的リテラシーの関連性について, 具体的な検討はなされていない。例えば, 関数的な考え方を含む領域が科学的リテラシーと関連性を持つかは定かではない。PISA2012 の数学的リテラシーの出題項目は, 「数学的な内容」として「空間と形」, 「不確実性とデータ」, 「変化と関係」, 「量」の4つの領域に分類されている。これらの領域に着目することによって, 数学的リテラシーと科学的リテラシーの関連性を検討できる。

教科横断的な取り組みにおいて, 数学と理科を関連付ける意味は大きい。今後, それへの注目は高まるものと予想される。しかしながら, 子どもの数学と理科の学力, 例えば, 数学的リテラシーと科学的リテラシーの関連性の実態は必ずしも明確ではない。そこで, 本研究では, PISA で設定された数学的リテラシーの4つの領域に着目し, 日本の生徒が持つ数学的リテラシーと科学的リテラシーの関連性を明らかにする。具

体的には、4つの領域を持つ科学的リテラシーとの関連性の程度を調べる。

## 2. 研究手法

### (1) 分析対象とデータ処理

本分析では、日本、オーストラリア、カナダ、フィンランド、フランス、香港、アイルランド、韓国、オランダ、ニュージーランドの10カ国<sup>2)</sup>を分析対象とし、国際比較を通じて、日本の生徒が持つ数学的リテラシーと科学的リテラシーの関連性の特徴を明らかにする。なお、数学的リテラシーが主要な調査対象であった PISA2012 の公開データを用いる。この10カ国の PISA2012 では、異なる14種類のブックレットが使用され、数学的リテラシーと科学的リテラシーが測定された。そのうちの一つは、特別な配慮が必要な受験者のための UH ブックレットである (OECD, 2014, p.32)。UH ブックレットを使用した10カ国の受験者数は、合計175名と特に少ないため、これらの受験者は分析対象に含めなかった。13種類のブックレットを使用した10カ国の受験者79288名のうち、54790名が数学的リテラシーと科学的リテラシーを共通に受験している。この共通受験者の公開データを分析対象とする。また、PISAの受験者は、多くの国で義務教育を修了する15歳児であり、日本の受験者のほとんどは高等学校入学者選抜（以下、高校入試）を終えた高校1年生となっている（国立教育政策研究所，2013）。

数学的リテラシーと科学的リテラシーの調査には、それぞれ84項目<sup>3)</sup>と53項目が出題され、それらのうち8項目と3項目に部分配点が設定されている。本分析では、無回答、未到達、欠損値は誤答として扱い、部分配点を持たない項目では正答を1誤答を0、部分配点を持つ項目では、完全正答を2部分正答を1誤答を0としてデータを処理した。また、受験者が使用したブックレットに含まれていない項目は NA とした。なお、PISAの公開データには、受験者が所属する学校が区別されている。本分析では、この受験者が属する学校のデータを含め、10カ国54790名分の数学的リテラシー84項目と科学的リテラシー53項目の合計138の変数から成るデータセットを準備した。

### (2) 分析の流れ

受験者は、13種類のブックレットのうちの一つを使用しているため、同一の内容のブックレットに取り組んでいるわけではない。そのため、各項目の得点を合計したものをテスト得点にすることは、適当とは限らない。そこで、項目反応理論の段階反応モデル<sup>4)</sup>を用いてテスト得点を算出する。算出したテスト得点（以下、得点）は、全項目を用いた数学的リテラシーと科学的リテラシーおよび「数学的な内容」の4つの領域ごとの合計6種類である。算出した得点は、それぞれ平均値を0.0、標準偏差を1.0に調整した。表1は「数学的な内容」の各領域の内容と項目数である。

表1 「数学的な内容」の4つの領域の内容と項目数

領域	内容	項目数
空間と形	空間的、幾何的な現象や関係	21
不確実性とデータ	確率的・統計的な現象や関係	21
変化と関係	変数間の関数的な関係と依存関係とともに変化の数学的関係を明らかにすること	21
量	数量的な関係、数量的なパターン、数量的な現象	21

本分析では、数学的リテラシーと科学的リテラシーの関連性を捉えるために、次の諸点を試みる。日本に注目して、①数学的リテラシーと科学的リテラシーの得点の相関関係を確認し、②「数学的な内容」の4つの領域と科学的リテラシーの関連性を検討する。③他の9カ国に目を向け、「数学的な内容」の4つの領域と科学的リテラシーの関連性を捉える。

### 3. 分析結果

#### (1) 日本における数学的リテラシーと科学的リテラシーの相関関係

図1に、日本の受験者の数学的リテラシーと科学的リテラシーの得点および学校平均値の散布図を示した。分析対象とした日本の受験者数は4415名であり、学校数は191校である。図1から分かるように、受験者の数学的リテラシーと科学的リテラシーの得点に正の相関関係があり、学校平均値にはさらには強い相関関係を確認できる。それぞれの相関係数<sup>5)</sup>は0.736と0.962である。

学校平均値に非常に強い相関関係を確認したが、これは、受験者が高校入試を終えた高校1年生であり、高校入試によって、各学校に属する受験者の数学的リテラシーと科学的リテラシーの水準が近しいために生じたものと考えられる。そこで、学校の違いの影響を取り除くために、学校間の学校レベルと個人間の個人レベルを区別し、数学的リテラシーと科学的リテラシーの関連性を捉える。準備したデータセットは、受験者が属する学校を区別できるため、学校レベルと個人レベルの入れ子構造を持つ。この2つのレベルに注目して、階層線形モデル<sup>6)</sup>による分析を試みる。なお、学校レベルに高校入試の影響を想定できるため、本分析では個人レベルに焦点を当てる。

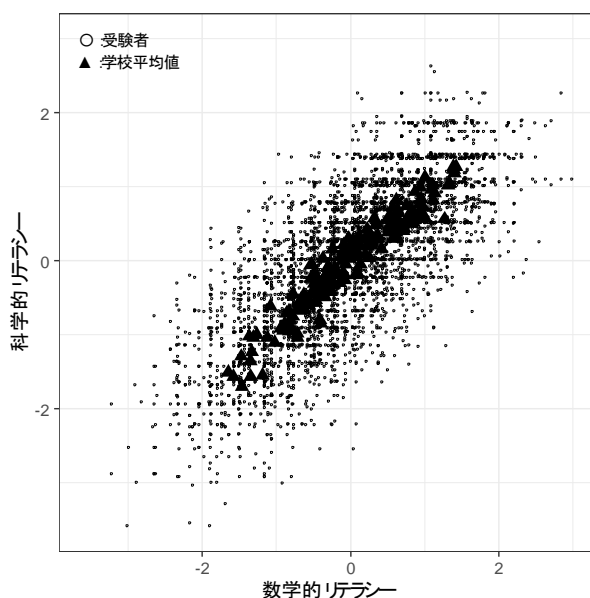


図1 日本における数学的リテラシーと科学的リテラシーの得点の散布図

#### (2) 日本の学校レベルと個人レベルにおける得点間の相関係数

表2に、数学的リテラシーと「数学的な内容」の4つの領域および科学的リテラシーの得点間の相関係数を示した。なお、この表にある右側の斜体は学校レベルである学校平均値の相関係数であり、左側の値は受験者個人レベルの相関係数である。

学校レベルをみると、数学的リテラシーと4つの領域の5つの得点間の相関係数は0.924以上であり、非常に強い正の相関関係が認められる。次に個人レベルをみると、数学的リテラシーと4つの領域の相関係数は0.7を上回り、強い正の相関関係がある。また、4つの領域間では0.617が最大値であり、中程度の正の相関関係と読み取れる。このように、学校レベルでは、数学的リテラシーと4つの領域の相関関係は非常に強いことが分かった。また、個人レベルの4つの領域間の相関関係は中程度であることも分かった。

表2 数学的リテラシーと「数学的な内容」の4つの領域および科学的リテラシーの相関係数

	A	B	C	D	E	F
数学的リテラシー	A	—	0.966	0.978	0.978	0.962
空間と形	B	0.786	—	0.934	0.924	0.913
不確実性とデータ	C	0.799	0.536	—	0.943	0.937
変化と関係	D	0.848	0.589	0.574	—	0.944
量	E	0.822	0.556	0.557	0.617	—
科学的リテラシー	F	0.736	0.562	0.581	0.645	0.624

### (3) 日本における「数学的な内容」の4つの領域と科学的リテラシーの関連性

日本における「数学的な内容」の4つの領域と科学的リテラシーの関連性を階層線形モデルを用いて調べる。まず、学校  $j$  に属する受験者  $i$  の科学的リテラシーの得点  $scie_{ij}$  を目的変数とし、説明変数を投入しない分散分析モデル（以下、モデル1）

$$\text{個人レベル： } scie_{ij} = \beta_j + r_{ij} \quad r_{ij} \sim N(0, \sigma^2) \quad (1)$$

$$\text{学校レベル： } \beta_j = \gamma_0 + u_j \quad u_j \sim N(0, \tau_0) \quad (2)$$

を考える。式(1)は、各学校の科学的リテラシーの平均  $\beta_j$  と誤差項  $r_{ij}$  によって  $scie_{ij}$  を表現している。式

(2)は、全体平均  $\gamma_0$  と各学校の効果  $u_j$  で  $\beta_j$  を表している。モデル1では、 $\gamma_0$  が固定効果であり、 $u_j$  がランダム効果である。なお、 $\sigma^2$  と  $\tau_0$  をそれぞれ学校内分散と学校間分散と呼ぶことにする。

次に、モデル1に説明変数を投入する。表2から分かったように、学校レベルの数学的リテラシーと4つの領域の相関係数が0.9以上と大きいので、学校レベルには、数学的リテラシーの学校平均値を投入する。また、個人レベルには、「数学的な内容」の4つの領域を説明変数として投入する。このように、モデル1に説明変数を投入した集団・個人レベル効果推定モデル（以下、モデル2）

$$\text{個人レベル： } scie_{ij} = \beta_j + \beta_1(x_{1ij} - x_{1,j}) + \beta_2(x_{2ij} - x_{2,j}) + \beta_3(x_{3ij} - x_{3,j}) + \beta_4(x_{4ij} - x_{4,j}) + r_{ij} \quad (3)$$

$$r_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$$

$$\text{学校レベル： } \beta_j = \gamma_0 + \gamma_1 math_{,j} + u_j \quad (4)$$

$$u_j \sim N(0, \tau_0)$$

を考えた。なお、 $x_{kij}$  ( $k=1,2,3,4$ ) は学校  $j$  に属する受験者  $i$  の「数学的な内容」の4つの領域の得点であり、 $math_{,j}$  は学校  $j$  の数学的リテラシーの平均値である。また、式(3)では、説明変数  $x_{kij}$  を各学校の平均値  $x_{k,j}$  で中心化してある。モデル2では、 $\gamma_0$  と  $\gamma_1$  および  $\beta_k$  ( $k=1,2,3,4$ ) が固定効果であり、 $u_j$  がランダム効果である。

表3は、モデル1とモデル2を用いた分析結果である。学校内分散と学校間分散は、それぞれモデル1とモデル2の間で減少している。特に、学校間分散の減少率<sup>7)</sup>は0.975と大きい。これは、モデル2で投

入した学校レベルの説明変数によって、 $\beta_j$ の分散が97.5%説明されたことを意味する。学校内分散については、個人レベルに投入した4つの説明変数によって、 $r_{ij}$ の分散の33.7%が説明されている。また、級内相関係数<sup>8)</sup>を計算したところ、モデル1では0.350を示した。これは、目的変数の分散の35%を学校の違いが説明することを意味する。しかし、モデル2の級内相関係数は0.020と小さく、学校の違いによって説明される目的変数の分散の割合が大きく減少している。このように、学校間分散の減少率と級内相関係数を確かめたところ、モデル2は、各学校の科学的リテラシーの水準の違いを統制したモデルとして扱える。したがって、モデル2の個人レベルの固定効果 $\beta_k$  ( $k=1,2,3,4$ )は、個人レベルにおける4つの領域と科学的リテラシーと関連性をみる指標になる。

個人レベルの固定効果をみると、全て正の値を示しているため、4つの領域は、科学的リテラシーに対して正の効果を持つといえる。その中でも、 $\beta_3$ は0.249と最も大きい。これは、「変化と関係」の得点が1標準偏差高い受験者は、平均的に科学的リテラシーの得点が0.249高いことを意味する。したがって、4つの領域の中で「変化と関係」が最も科学的リテラシーと強い関連性を持つと判断できる。また、 $\beta_1$ は0.119と $\beta_3$ の約半分の大きさであるため、「空間と形」は「変化と関係」の半分程度の関連性の強さといえる。

表3 モデル1とモデル2を用いた「数学的な内容」の4つの領域に関する分析結果

		モデル1			モデル2		
		推定値	SE	95%CI	推定値	SE	95%CI
	学校内分散	$\sigma^2$	0.658	[0.631, 0.687]	0.436		[0.417, 0.455]
	学校間分散	$\tau_0$	0.354	[0.286, 0.442]	0.009		[0.004, 0.015]
減少率	学校内分散				0.337		
	学校間分散				0.975		
	級内相関係数		0.350		0.020		
	切片	$\gamma_0$	-0.018	0.045 [-0.107, 0.070]	-0.001	0.012	[-0.025, 0.023]
学校レベル	数学的リテラシー	$\gamma_1$			0.869	0.018	[0.834, 0.904]
個人レベル	空間と形	$\beta_1$			0.119	0.014	[0.091, 0.146]
	不確実性とデータ	$\beta_2$			0.168	0.014	[0.142, 0.195]
	変化と関係	$\beta_3$			0.249	0.015	[0.220, 0.278]
	量	$\beta_4$			0.215	0.014	[0.187, 0.243]

注) SEとCIはそれぞれ標準誤差と信頼区間を意味する。

#### (4) 9カ国における「数学的な内容」の4つの領域と科学的リテラシーの関連性

ここでは、オーストラリア、カナダ、フィンランド、フランス、香港、アイルランド、韓国、オランダ、ニュージーランドの9カ国において、「数学的な内容」の4つの領域と科学的リテラシーの関連性について調べる。そのために、各国でモデル1とモデル2を用いて、日本と同様な分析を行った。表4は得られた分析結果である。なお、日本の結果を合わせて提示した。

モデル1とモデル2の学校間分散の減少率をみると、フィンランドとカナダはそれぞれ0.788と0.795となったが、それ以外の国は0.950を上回っている。つまり、モデル2で投入した学校レベルの説明変数によって、各国の $\beta_j$ の分散が約80%もしくは95%以上説明されたことになる。また、各国のモデル2の級内相関係数をみると、全ての国でモデル1の値よりも小さく、カナダの0.055が最大となっている。こ

PISA 数学的リテラシーと科学的リテラシーの関連性に関する研究  
 — 「数学的な内容」の4つの領域に着目した PISA2012 の二次分析から—

表4 10カ国のモデル1とモデル2を用いた「数学的な内容」の4つの領域の分析結果

		日本		オーストラリア		カナダ		フィンランド		フランス		
		推定値	SE	推定値	SE	推定値	SE	推定値	SE	推定値	SE	
受験者数		4415		10043		14927		6079		3191		
学校数		191		774		885		301		226		
減少率	学校内分散	0.337		0.484		0.434		0.502		0.301		
	学校間分散	0.975		0.973		0.795		0.788		0.968		
級内相関係数	モデル1	0.350		0.183		0.138		0.066		0.432		
	モデル2	0.020		0.011		0.055		0.029		0.034		
切片		$\gamma_0$	-0.001	0.012	0.000	0.007	0.001	0.008	0.003	0.011	-0.001	0.014
学校レベル	数学的リテラシー	$\gamma_1$	0.869	0.018	0.863	0.013	0.813	0.018	0.841	0.034	0.945	0.020
個人レベル	空間と形	$\beta_1$	0.119	0.014	0.123	0.009	0.131	0.008	0.143	0.011	0.136	0.016
	不確実性とデータ	$\beta_2$	0.168	0.014	0.199	0.009	0.177	0.008	0.212	0.012	0.149	0.017
	変化と関係	$\beta_3$	0.249	0.015	0.253	0.010	0.248	0.008	0.251	0.012	0.195	0.017
	量	$\beta_4$	0.215	0.014	0.267	0.010	0.252	0.008	0.258	0.012	0.187	0.017
		香港		アイルランド		韓国		オランダ		ニュージーランド		
		推定値	SE	推定値	SE	推定値	SE	推定値	SE	推定値	SE	
受験者数		3244		3487		3472		2977		2955		
学校数		148		183		156		174		177		
減少率	学校内分散	0.342		0.474		0.388		0.260		0.508		
	学校間分散	0.999		0.952		>0.999		0.994		0.956		
級内相関係数	モデル1	0.266		0.136		0.257		0.452		0.187		
	モデル2	0.001		0.014		<0.001		0.007		0.020		
切片		$\gamma_0$	0.000	0.012	-0.001	0.013	0.000	0.011	0.000	0.012	0.001	0.014
学校レベル	数学的リテラシー	$\gamma_1$	0.862	0.020	0.905	0.031	0.884	0.019	0.916	0.017	0.922	0.028
個人レベル	空間と形	$\beta_1$	0.147	0.017	0.185	0.014	0.170	0.016	0.098	0.016	0.141	0.016
	不確実性とデータ	$\beta_2$	0.173	0.016	0.177	0.015	0.146	0.016	0.143	0.016	0.207	0.017
	変化と関係	$\beta_3$	0.217	0.018	0.243	0.016	0.244	0.017	0.218	0.017	0.269	0.018
	量	$\beta_4$	0.219	0.017	0.252	0.016	0.219	0.016	0.199	0.017	0.237	0.017

注) SEは標準誤差である。

のように、9カ国それぞれにおいて、モデル2は、各学校の科学的リテラシーの水準の違いを統制したモデルとして扱える。よって、個人レベルの固定効果に目を向ける。日本では、科学的リテラシーと最も強い関連性を持つ領域は「変化と関係」であった。ところが、オーストラリアをみると、「変化と関係」と「量」の固定効果 $\beta_3$ と $\beta_4$ は、それぞれ0.253と0.267であり、「量」が科学的リテラシーと最も強い関連性を持つ結果となっていた。そこで図2のように、各国の固定効果 $\beta_k$ を棒グラフで示した。なお、エラーバーは標準誤差である。この図をみると、日本、フランス、韓国、オランダ、ニュージーランドの5カ国では、「変化と関係」の値が最大となっている。オーストラリア、カナダ、フィンランド、香港、アイルランドの5カ国では、「変化と関係」ではなく、「量」の値が最も大きい。つまり、日本のように「変化と関係」が最も強く科学的リテラシーと関連する国もあれば、「量」が最も強い関連性を持つ国も確かめられた。しかし、

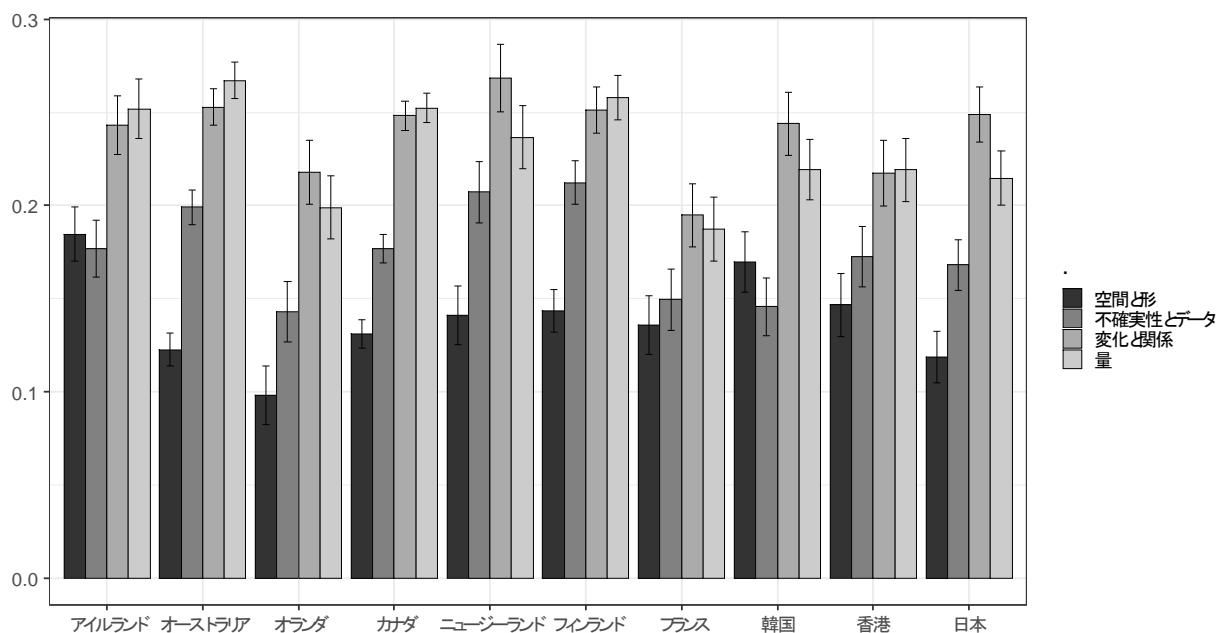


図2 10カ国における「数学的な内容」の4つの領域の固定効果

どの国をみても、「変化と関係」と「量」の固定効果は、「不確実性とデータ」と「空間と形」の値よりも大きいことが分かる。このことから、4つの領域の中でも「変化と関係」と「量」は科学的リテラシーと強い関連性を持つという10カ国に共通する特徴も浮かび上がった。

#### 4. 考察

本分析では、「数学的な内容」の4つの領域に着目して、数学的リテラシーと科学的リテラシーの関連性を検討した。まず、日本の受験者の数学的リテラシーと科学的リテラシーの得点と学校平均値の散布図を確認したところ、学校平均値に非常に強い相関関係がみられた(図1)。これは、日本の受験者の大多数が高校入試を終えた高校1年生であり、各学校に属する受験者の学力水準は近しいためと考えられる。そこで、学校レベルと個人レベルを区別し、個人レベルに視点を置く分析を試みた。具体的には、数学的リテラシーと4つの領域・文脈の得点間の相関係数(表2)を確かめた上で、モデル1とモデル2を構築し、階層線形モデルによる分析を行った。

日本を分析した結果、モデル1とモデル2の間で学校間分散は大きく減少し、モデル2の級内相関係数は小さい値を得た(表3)。このことから、モデル2は各学校の科学的リテラシーの水準の違いを統制したモデルであると判断した。そして、個人レベルの固定効果を確認した結果、科学的リテラシーと最も強い関連性を持つ領域は、「変化と関係」であることが分かった。

また、モデル2は、他の9カ国においても各学校の科学的リテラシーの水準の違いを統制したモデルとして扱えた(表4)。そこで、各国の個人レベルの固定効果を確認したところ、「変化と関係」が最も科学的リテラシーと強く関連する国は、日本、フランス、韓国、オランダ、ニュージーランドの5カ国となった。他の5カ国では、「変化と関係」ではなく「量」が最も強い関連性を持つことを掴んだ。しかし、どの国においても「変化と関係」と「量」は、「不確実性とデータ」と「空間と形」よりも関連性が強いという10カ国に共通する特徴も浮かび上がった。

以上のことから、主な分析結果として、①日本においては、「変化と関係」が最も科学的リテラシーと強



い関連性を持つこと、②国際比較の視座から、「変化と関係」だけでなく「量」も科学的リテラシーと強い関連性を持つこと、の2点を指摘できる。

「変化と関係」は、「変数間の関数的な関係と依存関係とともに変化の数学的関係を明らかにすること」と規定され、各関係は、記号、代数、グラフ、表、幾何的表現などによって様々に表現される（国立教育政策研究所，2013，p.87）。数量や変数の関係を式・表・グラフを用いて表現することは、関数の3つの表現として知られる（大久保，2010；中野・布川・杉野本，2019）。また、高阪（2014）は、数学における関数的な考え方のキーワードとして「変化と対応」、「表現」、「規則性」、「活用」を挙げている。このように、関係の様々な表現を扱う「変化と関係」は、関数的な考え方を多く含む領域と捉えられる。関数的な考え方は、数学と理科の関連付けにおいて中心的な役割を担うとされる（e.g., 小倉，1996；月岡ら，2003；高阪，2014，2015）。結果①は、日本における数学と理科の関連付けにおいて、関数的な考え方が中心的な役割を担うことを PISA の枠組みで裏付けるものである。

その一方で、結果②をみると、「変化と関係」だけでなく、「量」にも目を向けるべきと考える。「量」は、「数量的な関係、数量的なパターン、数量的な現象」と規定され、量として捉えることが可能な実世界の対象の特性を数を用いて表し、量的推論を重視する領域である（国立教育政策研究所，2013，p.87）。井上・菅本（2017）と橋本（2019）は、算数・数学と理科の量に関する内容や指導に関連があまりみられないと指摘している。つまり、数学と理科における量の考え方に相違する点があるのかもしれない。高阪（2014）は、数学と理科における関数的な考え方の相違点を示しているが、それと同じように、数学と理科における量の考え方の明確化が必要と思われる。このように結果②は、数学と理科の関連付けにおいて、関数的な考え方だけでなく、量の考え方も重要な役割を担うことを示唆するものといえよう。

## 5. 終わりに

本稿では、PISA2012 の公開データと「数学的な内容」の4つの領域を活用し、数学的リテラシーと科学的リテラシーの関連性を検討した。その結果、日本における数学と理科の関連付けにおいて、関数的な考え方が中心的な役割を担うことを示すことができた。また、国際比較の視座から、関数的な考え方だけでなく、量の考え方も重要な役割を果たすことが示唆された。なお、PISA は日本の学校教育に影響を与えてきた。この意味で PISA の枠組みを用いて得た本研究の成果に一定の意義を見出してもよいだろう。

とはいえ、得られた成果は概括的なものである。数学と理科の関連付けへの考察を深化させるためには、より具体性を確保した分析と考察が必要である。例えば、「変化と関係」と「量」の出題項目にある関数的な考え方や量の考え方を検討するなど、4つの領域から出題項目そのものへと視点を移し、検討を重ねるべきである。また、数学と理科における量の考え方の明確化も不可欠である。これらへの取り組みを今後の課題とする。

本研究では、PISA2012 の公開データを活用した。PISA2022 では PISA2012 と同様に、数学的リテラシーが主要な調査対象に予定されている。また、TIMSS も定期的 to 実施され、数学と理科に関するデータの蓄積が進んでいる。これらのデータを活用すれば、経年変化という視座から、数学的リテラシーと科学的リテラシーの関連性を考察できる。ゆえに本稿には、経年変化を捉える分析に向けた準備としての位置付けもある。経年変化を捉える分析も今後の課題としたい。

## 脚注

- 1) 日本, オーストラリア, カナダ, フィンランド, フランス, ドイツ, 香港, ニュージーランド, アメリカの 13 カ国である。
- 2) 鈴川・豊田・川端 (2008) と渡邊 (2020) が対象とした 13 カ国の中から選んだ 10 カ国である。
- 3) PISA2012 では 85 項目が準備されたが, 項目 PM603Q02 は国際レベルで整合性が低いと判断されている (OECD, 2014, pp.231-232) ため, これを除いた 84 項目を用いた。
- 4) 統計分析ソフトウェア R にあるパッケージ ltm を用いて計算を行った。加藤・山田・川端 (2014) を参考にした。
- 5) 本分析では, 相関係数 0.4~0.7 を中程度の正の相関関係, 0.7~0.9 を強い正の相関関係, 0.9~1.0 を非常に強い正の相関関係として区別した。
- 6) 統計分析ソフトウェア R にあるパッケージ lmerTest を用いて計算を行った。尾崎・川端・山田 (2018) を参考にした。
- 7)  $\frac{\tau_0(\text{モデル1}) - \tau_0(\text{モデル2})}{\tau_0(\text{モデル1})}$  で計算される。
- 8)  $\frac{\tau_0}{\sigma^2 + \tau_0}$  で計算される。なお, モデル 2 に対しては条件付き級内相関係数と呼ばれる (尾崎・川端・山田, 2018, p.67) が, 本稿では級内相関係数と統一した。

\* 福井大学連合教職開発研究科

## 参考文献

- 安彦志彦 (2006). 『教育課程編成論 学校は何を学ぶところか』. 放送大学教育振興会.
- 井上正人・髯本格 (2017). 「児童生徒・学生の「理科離れ」「算数嫌い」から見えてくる課題 (2) —新しいカリキュラムの提言に向けて—」, 『神戸親和女子大学児童教育学研究』, 第 36 巻, pp.13-30.
- 大久保和義 (2010). 「関数の考え・比例」, 日本数学教育学会編『数学教育学研究ハンドブック』, 東洋館出版, pp.142-149.
- 小倉康 (1996). 「自然認識における知の表現法と評価法(2)—中学生の比例的推理能力の発達と科学的思考力の関係—」. 『日本科学教育学会年会論文集 20』, pp. 69-70.
- 尾崎幸謙・川端一光・山田剛史 (2018). 『R で学ぶマルチレベルモデル入門編: 基本モデルの考え方と分析』, 朝倉書店.
- 加藤健太郎・山田剛史・川端一光 (2014). 『R による項目反応理論』, オーム社.
- 高阪将人 (2014). 「理科と数学の関連付けについて—方法的側面の相違点に焦点をあてて—」. 全国数学教育学会『数学教育学研究』, 第 20 巻, 第 2 号, pp.49-61.
- 高阪将人 (2015). 「ザンビア共和国における概念地図法を用いた理科と数学の関連性に関する実態調査」. 『理科教育学研究』, 第 56 巻, 第 2 号, pp.161-171.
- 国立教育政策研究所 (2013). 『生きるための知識と技能 5—OECD 生徒の学習到達度調査 (PISA) 2012 年調査国際結果報告書—』. 明石書店.
- 鈴川由美・豊田秀樹・川端一光 (2008). 「わが国の数学教育は数学を日常の中で活用する能力を重視しているか—PISA2003 年調査の DIF による分析—」. 『教育心理学研究』, 第 56 巻, 第 2 号, pp.206-217.

PISA 数学的リテラシーと科学的リテラシーの関連性に関する研究  
—「数学的な内容」の4つの領域に着目した PISA2012 の二次分析から—

- 月岡英人・有本秀文・井上一郎・河野庸介・田中考一・工藤文三他 (2003). 『理数科教育と他教科との関連に関する基礎的・実証的研究・中学校編』, 国立教育政策研究所.
- 中野俊幸・布川和彦・杉野本勇氣 (2019). 「代数分野に関する内容構成 (中・高)」, 岩崎秀樹・溝口達也編『新しい数学教育の理論と実践』, ミネルヴァ書房, pp.107-142.
- 橋本美彦 (2019). 「算数科と理科学習における「気づき」と「関連づけ」に関する一考察 (2) —小学5年算数「単位量あたりの大きさ」と中学1年理科「密度」の学習に着目して—」, 『日本科学教育学会第43回年会論文集』, pp.241-242.
- 文部科学省 (2008). 『中学校学習指導要領解説・数学編』, 東洋館出版.
- 文部科学省 (2017). 『中学校学習指導要領 (平成29年告示) 解説・数学編』, 日本文教出版.
- 文部科学省 (2018). 『高等学校学習指導要領 (平成30年告示) 解説・理数編』, 東京書籍.
- 渡邊耕二 (2020). 「日本の生徒が持つ PISA 数学的リテラシーの特徴の変化に関する研究—「不確実性とデータ」領域に注目した PISA2003 と PISA2012 および PISA2015 の分析から—」, 全国数学教育学会『数学教育学研究』, 第26巻, 第1号, pp.1-12.
- Basista, B., & Mathews, S. (2002). Integrated Science and Mathematics Professional Development Programs, *School Science and Mathematics*, vol.102, no.7, pp.359-370.
- Berlin, D. F. and White, A. L. (1995). Connecting School Science and Mathematics, Peggy A. H. (Ed.) and Arthur F. C. (Ed.), *Connecting Mathematics across the Curriculum*, (pp.3-12). Virginia: The National Council of Teachers of Mathematics, INC.
- Bossé, M. J., Lee, T. D., Swinson, M., & Faulconer, J. (2010). The NCTM Process Standards and the Five Es of Science: Connecting Math and Science, *School Science and Mathematics*, vol.110, no.5, pp.262-276.
- Bragow, D., Gragow, K. A., & Smith, E. (1995). Back to the future: Toward curriculum integration, *Middle School Journal*, vol.27, pp.39-46.
- Guthrie, J. T., Wigfield, A., & VonSecker, C. (2000). Effects of integrated instruction on motivation and strategy use in reading, *Journal of Educational Psychology*, vol.92, no.2, pp.331-341.
- Hwang, J. (2019). Relationships among locus of control, learned helplessness, and mathematical literacy in PISA 2012: focus on Korea and Finland, *Large-scale Assessments in Education*, vol.7, no.4, <https://doi.org/10.1186/s40536-019-0072-7>.
- McComas, W. F. (1993). STS education and the affective domain. In R. E. Yager (Ed.), *What research says to the science teacher, 7: The science, technology, and society movement*, (pp.161-168). Washington, DC: National Science Teachers Association.
- Michelsen, C. (2006). Functions: a modelling tool in mathematics and science, *ZDM Mathematics Education*, vol.38, no.3, pp.269-280.
- Nakayasu, C. (2016). School curriculum in Japan, *The Curriculum Journal*, vol.27, no.2, pp.134-150.
- OECD. (2014). *PISA2012 Technical Report*, OECD: Paris.
- Sellar, S., & Lingard, B. (2014). The OECD and the expansion of PISA: new global modes of governance in education, *British Educational Research Journal*, vol.40, no.6, pp.917-936.
- So, W. W. M. (2012). Connecting Mathematics in Primary Science Inquiry Project, *International Journal*

*of Science and Mathematics Education*, vol.11, pp.385-406.

Tasaki, N. (2017). The impact of OECD-PISA results on Japanese educational policy, *European Journal of Education Research, Development and Policy*, vol.52, no.2, pp.145-153.

UNESCO. (2015). *EFA Global Monitoring Report Education for All: Achievements and Challenges*, UNESCO: Paris.

Vollrath, H. J. (1986). Search strategies as indicators of functional thinking, *Educational Studies in Mathematics*, vol.17, no.4, pp.387-400.

Watanabe, T. & Huntley, M. A. (1998). Connecting Mathematics and Science in Undergraduate Teacher Education Programs: Faculty Voices from the Maryland Collaborative for Teacher Preparation, *School Science and Mathematics*, vol.98, no.1, pp.19-25.