

知的障害児における数詞の変換処理

—— 支援法開発のための予備的検討 ——

河野武志 東京学芸大学大学院連合教育学研究科
葉石光一 埼玉大学教育学部特別支援教育講座

キーワード：知的障害 数詞の変換処理 支援法

1.はじめに

知的障害児には、口頭で提示された数をアラビア数字で表記するといった「数詞の変換処理」（一般に *transcoding* と言われる）に困難が見られる。これは教育実践の現場において経験的によく知られたことではあるが、その様相や関連する心理機能の分析等から原因を探りつつ、支援方法を組織的に検討した研究は見られない。本研究では、知的障害児を対象とする数詞の変換処理の支援を考案するために必要な知見を整理し、今後の検討すべき課題を明らかにすることを目的とする。具体的には、数詞の変換処理に関する認知心理学的モデル、幼児期から学童期にかけて進む数詞の変換処理の発達プロセス、知的・発達障害児における数詞の変換処理の特徴について、これまでの研究成果を概観する。特に数詞の変換処理のうち、本研究では、口頭で表現された数をアラビア数字に変換する「数の音から表記への変換」に着目していく。

日本の学校教育における算数科の学習では、概ね小学校2年生までに、1,000を超える大きな数を含めて、その記数法、つまり数字を使って数を表す方法を学習する。アラビア数字での記数法（アラビア記数法）では、10進数であれば使用するのは0から9までの10個の数字だけである。数字の位置で位が表現され、位を表す記号はない。一方、言葉での数の表現である命数法には言語に固有の特徴があり、表現のルールに不規則な点が見られる他、アラビア記数法と異なり、十、百、千、万といった位を表す表現が含まれる。日本語の命数法では十、百、千の位の数が1となる場合、命数の際に「イチ」という音を省略する（例えば、「1,000」は「セン」であり「イチセン」とは言わない）というように若干の不規則さはあるものの、日本を含むアジアの言語の命数法は、欧米の言語よりも体系的、規則的であり、理解や習得において容易であるとされる（Miura, Okamoto, Kim, Steere, & Falyol, 1993）。しかし、位取り記数法による表記の誤りは、学習障害児を含め、数の理解の初期段階のつまずきの現れとして見られることが指摘されている（牧野, 2010）。

冒頭に述べたように、知的障害児においても命数法、記数法の理解に困難がみられ、誤りを修正できないまま、数に関する学習を継続したり日常生活を送ったりしているケースがある。そういった中では、物の値段や個数などについて、音声による表現では目の前にしている事実と一致しており、数に関する情報を共有できたつもりであっても、その数を表記した時に誤りがあると、その共有関係が崩れ、混乱してしまうといった場面が起こりうる。学校を卒業し、社会生活を送る中では、仕事上の目標、仕事の対価としての給料、買い物での支払いなどにおいて、数字に触れる機会は少なくない。数に基づくやりとりがうまく機能しないことは、社会生活上の自立を妨げる要因の一つとなる可能性があり、数を扱うことに慣れていくことは知的障害児の指導における重要な課題の一つと言える。そのためには、まず知的障害児が数を扱う上でどういった困難を抱えているか、吟味する必要がある。このような数の表記上の困難を分析する上で、本研究では数の処理に関する認知心理学的モデルを活用していく。そこで、本研究では数の処理に関わる代表的な認知心理

学的モデルを概観する。なお、数の処理に関する認知的心理学的モデルは、大きく2つに分類できる。1つは、数の処理に数の意味表象が関与することを前提とする意味表現モデル、もう1つは、意味表象の関与を前提としない非意味表現モデルである。以下に、この2つのモデルの特徴を整理する。

2. 数詞の変換処理モデル

2-1. 意味表現モデル

数がどのように表象され、また表記のルールがどのように理解されているかについて、認知神経心理学の立場から様々な研究がなされてきた。ここではまず、数の処理に意味表現の関与を仮定する McCloskey のモデルを、主に McCloskey (1992) に基づいて概観する。

まずモデルに用いられる言葉とその概念を整理しておく。McCloskey (1992) は数を表す記号、または記号のセットを数詞 (numeral) と呼んでおり、①アラビア数字で表される数詞であるアラビア数詞 (Arabic numerals : 例えば, 56) と、②語 (words) の形式で表される言語数詞 (verbal numerals : 例えば fifty six) が大別される。このうち言語数詞は、話し言葉による口頭言語数詞 (spoken verbal numerals) と書き言葉による書記言語数詞 (written verbal numerals) とに区分される。これらの数詞の区別と対応し、アラビア数字による表記法はアラビア記数法、話し言葉による記数法を口頭言語的記数法、書き言葉による記数法を書記言語的記数法という。

図1は、McCloskey ら (1985) が示した、数の処理と計算のモデルである。モデルには、数の理解、計算及び産出に関する機能的に独立したメカニズムが仮定されている。McCloskey らのモデルは、アラビア数詞または言語数詞に関する情報を理解し、計算したり、別の数詞に変換したりするプロセスに、抽象的内的意味表現 (abstract internal representation) が介在することを仮定していることから、このモデルは数の処理に関する意味表現モデル (semantic model) と呼ばれている。

本研究で取り上げる音から表記への変換には、数詞理解メカニズムと数詞産出メカニズムが関与する。数詞理解メカニズムは、入力モダリティに対応してアラビア数詞理解と言語数詞理解の下位メカニズムに分けられている。これは数詞産出メカニズムにおいても同様である。理解と産出の各メカニズムはそれぞれ語彙処理と統語処理を含んでいる。語彙処理とは、数詞に含まれる個々の要素 (例えば、アラビア数字の3や「さん」という語) の理解と産出であり、統語処理とは要素間の関係 (例えば、語の順序) の処理である。こう

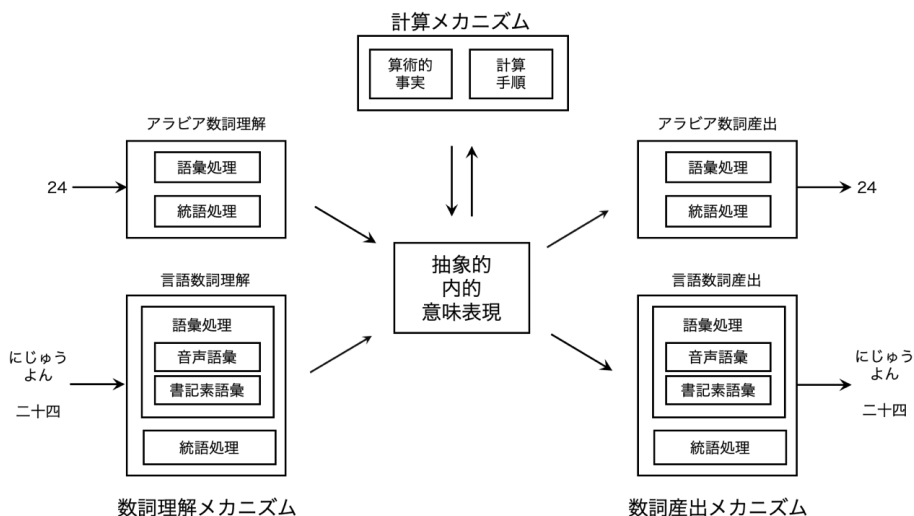


図1 McCloskeyら (1992) の数の処理及び計算モデル

いった処理をベースに、例えば「24」というアラビア数字を語彙処理と統語処理を通して理解するのがアラビア数詞理解であり、「にじゅう・よん」あるいは「二十四」という口頭言語あるいは書記言語によって提示された数を、語彙と統語の処理を通して理解するのが言語数詞理解である。言語数詞の理解及び産出における語彙処理は、音声と書記素の処理から構成されている。本研究では数の音の入力をアラビア数字に変換して出力するプロセスを検討するため、口頭言語数詞理解における音声語彙と統語の処理、及びアラビア数詞産出における語彙と統語の処理に焦点を当てることになる。

McCloskey らのモデルの特徴は、先に述べたように理解と産出のメカニズムの間に抽象的内的意味表現が介在する点にある。この内的意味表現は、提示された数詞に対して、数詞理解メカニズムが音韻的、統語的処理を行うことを通して得られる、数の量に関する表象であり、数詞を構成している位の数それぞれが示す量と、位の数と結びついている 10 の累乗を特定することによって得られるものと仮定されている。例えば、「にひゃく・ななじゅう・さん」(273) という口頭言語数詞の入力に対して、数詞理解メカニズムは語の意味と語の関係の分析を通して {2}10EXP2、{7}10EXP1、{3}10EXP0 という意味表現を生成する（ここで中括弧内の数字は量の表現、10EXPn は 10 の累乗を示している）。意味表現の生成に至る処理には、具体的には、入力された語それぞれに対して「に」→{2}10EXP0、「ひゃく」→10EXP2、「なな」→{7}10EXP0、「じゅう」→10EXP1、「さん」→{3}10EXP0 といった表象を生成する語彙処理を行うとともに、最終的な意味表現においては、数詞内の「ひゃく」は「に」に続いているので量{2}は 10 の累乗の標識である 10EXP2 と結びつけられるべきであると判断する統語的処理が含まれている。

図 1 に示したように、McCloskey らの意味表現モデルでは、計算や記数法の変換は量に関する内的意味表現なしに成り立たない。スロン (1995) はこのことを「強制的意味介在」のモデルと呼んでいる。

2-2. 非意味表現モデル

2-2-1. Deloche, & Seron (1987) のモデル

McCloskey (1992) や McCloskey, Caramazza, & Basili (1985) において提唱された意味表現モデルに対して、数の量に関する内的意味表現の介在を仮定しない非意味表現モデルが、Seron ら (Deloche & Seron, 1987; Barrouillet, Camos, Perruchet & Seron, 2004) によって示された。Seron らは、図 2 に示すように音韻コード、数字コード、文字コード間の変換の図式に、McCloskey らのような意味表現を介在させていない。ここで想定している数の変換のためのアルゴリズムには、変換元の数詞（ソースコード）を目的の数詞（ターゲットコード）に変換する過程で、ソースコードの形式からその意味を生成するプロセスが含まれておらず、この処理は単に方略的なものとされている。

数詞の変換に必要な処理をあげると、①解析、②基本要素のカテゴリ化、③変換、④産出の 4 つである

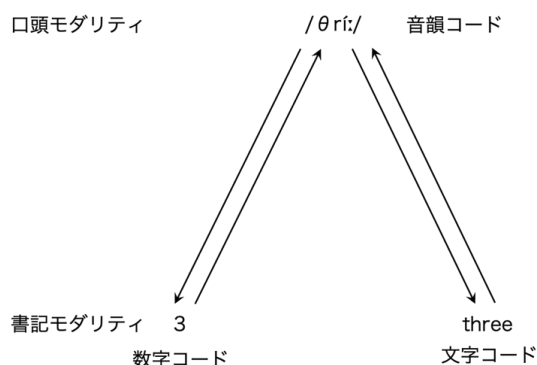


図 2 Deloche & Seron (1987) による数の変換事態

(Barrouillet, Camos, Perruchet, & Seron, 2004)。言語数詞をアラビア数詞に変換する（例えば、「fifty eight」を「58」に変換する）処理を例にとると、解析は音や文字の情報を時系列的な順に、逐次的に進められ、心的辞書（lexicon）の検索を通して語彙の基本要素（「fifty」と「eight」）を特定する処理である。カテゴリ化は、変換規則（表2）の実装に必要な変数を特定する処理である。必要な変数は、①基本要素が属するクラス（units、teens、decades）と、②クラス内の位置（位置値）の2つ（「fifty」はdecadesの5番目、「eight」はunitsの8番目）である（表1に、99までの英語数詞の語彙構造とコーディングシステムを示した）。変換は、カテゴリ化によって得られた数字を変換規則に沿って3スロットの枠に入れる処理である。このスロット数は、英語の口頭言語数詞がthousand、millionといった数詞の区切りを示すセパレータによる3桁の繰り返し構造で捉えられることと対応している（図3）。先の「fifty eight」の例で言えば、decadesの5番目に対応する数字は5、unitsの8番目に対応する数字は8である。これらを変換規則に沿って枠に入力し、「58」として出力するプロセスが産出である。

表1 英語数詞とアラビア数詞の語彙構造とコーディングシステム

数字の語彙	位置	数詞の語彙		
		Units	Teens	Decades
9	9th	nine	nineteen	ninety
8	8th	eight	eighteen	eighty
7	7th	seven	seventeen	seventy
6	6th	six	sixteen	sixty
5	5th	five	fifteen	fifty
4	4th	four	fourteen	forty
3	3rd	three	thirteen	thirty
2	2nd	two	twelve	twenty
1	1st	one	eleven	ten

(Deloche & Seron (1987) より)

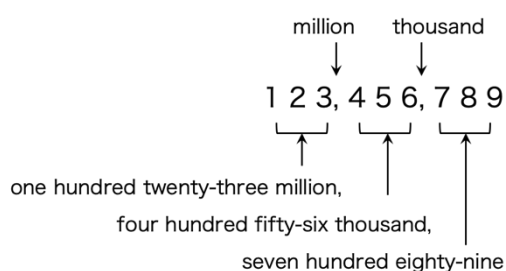


図3 英語の言語数詞の区切り方

なお、変換の処理に用いられる規則は言語の特性を反映するものである。Seronらはフランス語圏の研究者であるため、フランス語の言語数詞の特性に基づいて変換規則を定式化した。英語の場合についても示しており（Deloche, & Seron, 1987）、その内容は表2の通りとなっている。

上述の「fifty eight」をこの変換規則に沿ってアラビア数詞に変換するプロセスは、表3に示した通りである（Deloche, & Seron (1987) に沿って筆者が作成）。

表2 英語の言語数詞をアラビア数詞に変換するための規則

規則	内容
規則1	3スロットの枠 (d1、d2、d3) をリセットし、各スロットに「0」を入れる。
規則2	言語数詞の要素がdecades (tenからninetyのいずれか) に属する場合、規則2を適用する。 語彙要素の位置値 (1stから9thのいずれか) に対応する数字 (1から9) をd2に記入する。
規則3	言語数詞の要素がunits (oneからnine) に属する場合、規則3を適用する。 語彙要素の位置値に対応する数字をワーキングメモリ (WMS) に貯蔵する。
規則4	言語数詞の基本要素がhundredである場合、規則4を適用する。 WMSの内容をd1に記入する。
規則5	言語数詞の基本要素がteens (11から19) に属する場合、規則5を適用する。 d2に「1」を記入し、特定された語彙要素の位置値に対応する数字をd3に記入する。
規則6	数詞の最後に達した場合、規則6を適用する。 WMSが空でなければ、d3にWMSの内容を読み込み、「0」の見出しが残っている場合、フレームから消去する。

(Deloche, & Seron (1987) に基づいて筆者が作成)

表3 言語数詞からアラビア数詞への変換の例 (fifty eight→58)

	枠の状態			
	d1	d2	d3	WMS
fifty-eight				
規則1により3スロットのフレームをリセットし「0」を入れる。	0	0	0	0
fiftyはdecadesに属するため規則2により、「5」をd2に入れる。	0	5	0	0
eightはunitに属するため規則3により、「8」をWMSに入れる。	0	5	0	8
末尾に到達したため規則6によりWMSの内容をd3に読み込み、d1の「0」を消去する。	0	5	8	0
		5	8	

WMSはワーキングメモリ

2-2-2. ADAPT モデル

Deloche, & Seron (1987) のモデルは数詞の変換に必要なアルゴリズムを記述したものだが、このモデルは発達的な観点に欠けている。Deloche, & Seron (1987) は、扱う数字の桁数に関わらず3スロットの枠を用意することが前提となっているが、数詞の仕組みを理解する過程は、まず2桁以下の小さな数の変換に必要な規則の学習から始まる。この段階の処理は、3スロットの枠を前提とするモデルよりも簡潔であり、また処理に慣れてくると変換のアルゴリズムを使わずに最も単純でよく使われる数字の形式を長期記憶から直接取り出すようになると考えられる。そこで Barrouillet, Camos, Perruchet, & Seron (2004) は、数詞変換の発達過程を意識した ADAPT モデル (A Developmental, Asemantic, and Procedural Transcoding Model) を考案した。

Barrouillet, Camos, Perruchet, & Seron (2004) では、99 までの数の変換を念頭においた ADAPT^{BASIC} と、99999 までの数の変換を念頭においた ADAPT^{ADV} が示されている。学習の初期段階の様子は、数詞を基本要素に分解してアラビア数字に逐次変換していく ADAPT^{BASIC} モデルで説明されるが、学習が進むにつれてこのモデルで扱う範囲の数字は変換手続きを経ずに長期記憶から直接取り出されるようになると想定されている。

ADAPT モデルは、入力された情報の「条件」と、それに対する「実行」で構成される「手続き」を組み合わせて数詞の変換を説明する。言語数詞を基本要素に分解・解析しつつ、必要な情報をワーキングメモリに貯蔵して逐語的に変換処理を進める流れは、Deloche, & Seron (1987) と同様である (基本要素の捉え方も表1と同様)。表4に ADAPT^{BASIC} で想定されている手続きをまとめた。ここで chain とはワーキングメモ

りに形成される数字の連なりを指す。また表5に ADAPT^{BASIC} の手続きの適用例を示した。

表4 ADAPT^{BASIC}における99までの数の変換に必要な手続き

手続き	条件	実行
Pa	入力=units 枠組み=なし	位置値を長期記憶で検索 位置値をchainに置く 停止
Pa'	入力=units 枠組み=あり	位置値を長期記憶で検索 位置値を枠の空きスロットに配置 停止
Pb	入力=decades 枠組み=なし	位置値を長期記憶で検索 位置値をchainに置く chainに枠□を置く 次の入力を読む
Pd	入力=teen 枠組み=なし	位置値を長期記憶で検索 1をchainに置く chainに枠□を置く 位置値を枠の空きスロットに置く 停止
Pe	入力=終了 枠組み=なし	停止
Pe'	入力=終了 枠組み=あり	枠の空きスロットを0で埋める 停止

(Barrouillet, et al (2004) より)

表5 ADAPT^{BASIC}の適用例：seventy-fourの場合

ステップ	入力	位置値	手続き	Chain	WMS	枠組み
1	seventy=decades	7	Pb	7□	なし	あり
2	four=units	4	Pa'	74	なし	なし
3	終了		Pe	停止	なし	なし

経験や学習を通して、使用頻度の高い数字の変換に ADAPT^{BASIC} の手続きは必要なくなり、ここで扱われる数の変換結果は語彙の基本要素として長期記憶に貯蔵され、数詞の処理においてワーキングメモリへ直接引き出されることになる。表6に示した ADAPT^{ADV} は、長期記憶から直接引き出し可能な99までの数詞の活用を新たな手続き P1 として含み込んだモデルであり、表7はその適用例である。手続き P1 の入力にある lexic は、学習の結果として心的辞書に貯蔵された表象単位であり、val はそれと結びついたアラビア数詞である。ここに ADAPT モデルの発達の観点が現れている。

ADAPT モデルは、数詞の基本要素の捉え方や処理手続きの共有部分から、Deloche, & Seron (1987) のモデルを発展させたものであり、数詞の学習が進む中で現れる手続きの変化を取り入れた柔軟なモデルといえる。なお数詞を3桁のまとまりで捉える英語に対して、日本語は4桁のまとまりで数詞を捉える構造となっている(図4)。また英語数詞の teens は日本語にはない。そのためこのモデルを日本語数詞に適用する場合、teens の処理が省略できる一方で、「億」「万」

の処理において設ける枠を4つにする手続きを追加する工夫が必要になる。

表6 ADAPT^{ADV}における99999までの変換に必要な手続き

手続き	条件	実行
P1	入力=lexic	valを長期記憶で検索 valをWMSに置く 次の入力を読む
P2b	入力=hundred WMS情報=あり 枠組み=なし	WMS情報をchainに置く WMS情報を消去 chainに枠□□を置く 次の入力を読む
P2d	入力=hundred WMS情報=あり 枠組み=あり	枠□□の左をWMS情報で埋める WMS情報を消去 次の入力を読む
P3b	入力=thousand WMS情報=あり 枠組み=なし	WMS情報をChainに置く WMS情報を消去 chainに枠□□□を置く 次の入力を読む
P3d	入力=thousand WMS情報=あり 枠組み=あり	枠の右をWMS情報で埋める WMS情報を消去 枠の空きスロットがあれば0で埋める chainに枠□□□を置く 次の入力を読む
P4a	入力=終了 WMS情報=あり 枠組み=なし	WMS情報をchainに置く 停止
P4b	入力=終了 WMS情報=なし 枠組み=あり	枠の空きスロットを0で埋める 停止
P4c	入力=終了 WMS情報=あり 枠組み=あり	枠の右をWMS情報で埋める WMS情報を消去 次の入力を読む

WMSはワーキングメモリ
(Barrouillet, et al (2004) より)

表7 ADAPT^{ADV}の適用例：thirty-nine thousand four hundred thirty-fiveの場合

ステップ	入力	val	手続き	Chain	WMS	枠組み
1	tirty-nine=lexic	39	P1		39	なし
2	thousand		P3b	39□□□	なし	あり
3	four=lexic	4	P1	39□□□	4	あり
4	hundred		P2d	394□□	なし	あり
5	thirty-five=lexic	35	P1	394□□	35	あり
6	終了		P4c	39435	なし	なし

WMSはワーキングメモリ

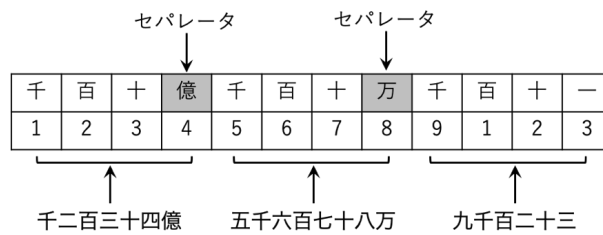


図4 日本語の言語数詞の区切り方

2-3. 意味表現モデルと非意味表現モデルの違いとその意味

意味表現モデルは、数の量に関する抽象的表象が数詞の理解と産出のメカニズムの間に介在しているということを仮定するモデルであった。一方、非意味表現モデルでは、数の変換において数の量へのアクセスは必須ではないこと、また入力された数詞を出力する変換はアルゴリズムに基づく手続きであることを仮定している (Maura, Wood, Pinheiro-Chages, Lonnemann, Krinzinger, Willmes, & Haase, 2013)。ただし、数詞の変換における非意味表現モデルを主張する Seron らは、このモデルによる変換の過程で、入力の形式に基づいた意味表現を並列的に計算することが不可能と考えているわけではない。彼らは、数詞の変換とその出力が意味表現に基づいて行われるのではないということを仮定しているだけである (Barrouillet, Camos, Perruchet, & Seron, 2004)。

数の表記や、数詞の変換は、確かに手続き的に実行可能である。しかし記数法は、数詞によって指し示される物の量を正確に表現するために整えられている。また数字が書けたり読めたりすること、量のイメージができるようになることは、数の学習を意味づけ、学習の成果を活用する動機付け要素として重要であろう。

一方で、規則を正しく実行すれば数字を書くことができるということにも、意味があるように思われる。数の意味理解が伴わないながらも正しく書くことができるのであれば、少なくともその点の達成動機を得ることができる。それに加えて、扱う数が大きくなれば、言語数詞であれアラビア数詞であれ、出力としての文字列は長くなるため、書けることで数の量のイメージが漠然とではあれ、理解されるという面があるであろう。本研究で対象とする知的障害児には、数概念の発達に困難が伴う (山口, 2012) ことが指摘されている。数の量に関する抽象的意味表現の理解が数字を扱う前提となると、知的障害児が数の学習を行う意味が失われてしまう可能性があるが、数を書くことで数の抽象的意味が理解される手がかりが得られるのであれば、それは知的障害児が数の学習を行う意味と言えるかもしれない。

3. 定型発達児における数詞の変換処理の発達過程

口頭言語数詞をアラビア数詞に変換する処理は、幼児期にその発達が進む。古池 (2013) は、3歳から5歳の幼児に対して、提示されたアラビア数詞を読ませる課題 (0 から 10、11 から 13 及び 20) と、口頭で読み上げられた 0 から 11 までの数詞をアラビア数字で書かせる (口頭言語数詞をアラビア数詞に変換させる) 課題を行なった。結果として、どの年齢においても、読みの習得が書きよりも先行していること、読みの通過率においては数が大きくなるにつれて低下する傾向が明瞭だが、書きの通過率は形の捉えやすさに関連しているとみられることが報告されている。また、サイコロを使った遊びの場面での数の表記について検討し

た Teubal, & Dockrell (2005) も、3 歳から 5 歳にかけて数を正しく表記できるようになることを示している。一般には小学校への就学を期にアラビア数字の表記について組織的な教育を受けるようになる。しかしそれ以前の生活経験の中においても数を数字と結びつける学習につながる機会があり、一定程度の学習が進むことがうかがわれる。

日本人小学生を対象とした数詞の変換処理に関するまとまった研究は、筆者が知る限り見られないが、海外においては少ないながらもいくつか研究がみられるので、それらを参考に言語数詞からアラビア数詞への変換処理の児童期における特徴をまとめておく。ただ、外国語に関する研究は数詞の特徴の違いが反映されている。日本語数詞は、10 進位取り記数法との対応が明瞭で、いわゆる透明性が高い点に特徴がある (Fuson, 1990)。一方、欧米の言語には 10 進位取り記数法と単純に対応しない特徴がある。例えば、11 から 19 に固有の数詞 (teens) がある点は日本語と異なる。またフランス語は decades (10 から 90) のうち 70、80、90 が特殊であり、70 (soixante-dix) は「60 と 10」 (sixty-ten)、80 (quatre-vingt) は「4 つの 20」 (four-twenty)、90 (quatre-vingt-dix) は「4 つの 20 と 10」 (four-twenty-ten) といった表現となる。ドイツ語には 2 桁の数詞に倒置がみられ、例えば 21 (ein und zwanzig) は「1 と 20」 (one-twenty) となる。こういった違いに由来する、日本語数詞の場合では見られない誤りを含んでいる点を考慮に入れる必要がある。

Power, & Dal Martello (1990) は、7 歳のイタリア人児童を対象として 4 桁までのアラビア数詞への変換処理の特徴を報告している (なお、イタリア語数詞の成り立ちは、英語数詞と類似している)。2 桁までのアラビア数字については全員が間違いなく変換できたが、3 桁以上では半数強の児童に誤りが見られた。Seron, & Fayol (1994) もまた、フランス語圏 (フランスとベルギー) の 7 歳児を対象としてアラビア数詞への変換処理の特徴を調べた結果、やはり 2 桁の処理は全て間違いなく変換できた。Power らは 15 名、Seron らは 20 名と、いずれの研究も対象児の数が少ないため、これらの結果を一般化するにはさらなる知見の蓄積が必要であるが、学童期の初期には 2 桁の数詞の変換処理は概ね問題なくできるようになる一方で、3 桁以上の数の処理の困難が解消されるにはもう少し時間がかかると推察される結果である。

これらより規模が大きな調査として、7 歳のフランス人児童 71 名を対象とした Camos (2008) の報告、及び 7 歳のオーストリアのドイツ語話者である児童 130 名を対象とした Zuber, Pixner, Moeller, & Nuerk (2009) の報告がある。Camos (2008) は 4 桁までの数の音から表記への変換課題を実施した。1 桁の数の変換に誤りを示した者はおらず、2 桁の数については 27 を 26 と誤ったもの、及び 62 を 72 と誤ったものが見られた。ほとんどが後者の誤りであり、これは音韻的によく似た数詞同士の混同であった。一方、3 桁の変換での誤答数の割合は 22.4%、4 桁では 47.2% であり、桁の大きい数の誤りの増加は顕著であった。一方、Zuber, Pixner, Moeller, & Nuerk (2009) は 3 桁までの数詞の音から表記への変換を行い、数詞のタイプを 8 つに分類して誤答数の割合を調べた。数詞のタイプは、①1 桁の数 (X)、②teens (11 から 19)、③1 の位が 0 の 2 桁の数 (20 以上 : X0)、④2 桁の数 (②③を除く : XX)、⑤10 の位と 1 の位が 0 の 3 桁の数 (X00)、⑥1 の位が 0 の 3 桁の数 (XX0)、⑦10 の位が 0 の 3 桁の数 (X0X)、⑧3 桁の数 (⑥⑦を除く : XXX) である。誤答数の割合は、X で 0.59%、teens で 6.61%、X0 で 19.34%、XX で 37.83%、X00 で 19.34%、XX0 で 69.60%、X0X で 51.95%、XXX で 76.8% であった。また表 8 に示したように、誤答には①語彙要素の置き換えがみられる語彙エラー (例えば、24→25)、②語彙要素は正しく産出されているが、全体の数の大きさが誤っている統語エラー (例えば、360→30060)、及び③両者の混合エラー (例えば、467→40057) が見られ、割合としては語彙エラーよりも統語エラーの方が多く見られた。

Zuber, Pixner, Moeller, & Nuerk (2009) の研究は、ドイツ語数詞の倒置表現が数詞の変換処理における誤りに与える影響に関心を向けたものであり、倒置に関連した誤答が誤答全体の半分程

表8 Zuberら（2009）に見られた変換エラーのタイプ

タイプ	内 訳	
	サブタイプ	例
語彙エラー	語彙値	
	0非関連	24→25
	0関連	90→91
	語彙クラス	90→19
統語エラー	付加的構成	360→30060
	倍数構成	300→3100
	倒置無視	182→128
	倒置誤適用	400→104
	その他	861→1806
混合エラー	語彙・統語	467→40057（付加的構成467→40067+語彙値67→57）
	語彙・倒置	467→475（語彙値67→57+倒置57→75）
	語彙・統語・倒置	467→40056（語彙値67→65+付加的構成465→40065+倒置65→56）
	統語重複	467→410067（付加的構成467→40067+倍数構成467→4167）
	統語・倒置	467→40076（付加的構成467→40067+倒置67→76）
	統語重複・倒置	467→410076（付加的構成467→40067+倍数構成467→4167+倒置67→76）

度を占めていたことは、その影響の大きさを示唆する結果といえる。両研究の対象者は同じ7歳の児童ではあるが、使用言語が異なることで通過率に大きく違いが生じることを示している。またこれらの研究は、間接的にはあるが、言語数詞とアラビア数詞の対応関係が明瞭な日本語での10進位取り記数法の学習の優位性を示唆するものと言える。

また近年の研究では、数詞の変換処理に対するワーキングメモリ機能の重要性に関心が向けられている。Camos（2008）、Zuber, Pixner, Moeller, & Nuerk（2009）の研究も誤答とワーキングメモリの関連を分析しており、Camos（2008）はワーキングメモリ機能が低い場合、誤答の割合が高まること、また顕著に見られた統語エラーは視空間性ワーキングメモリの機能の低さと関連していること、Zuber, Pixner, Moeller, & Nuerk（2009）は、倒置に関連する誤りにワーキングメモリ機能の低さが関連していることを明らかにしている。これは、処理する数字の桁が大きくなる、あるいは倒置などの不規則なルールを適用する必要があるといったようなワーキングメモリに対する認知的負荷が高まること、特に視空間情報処理への負荷の高まりが、変換の誤りの原因となる可能性があることを示唆する結果である。数詞の変換処理と視空間性ワーキングメモリの結びつきについては、位取り記数法（place value system）の習得との関連が指摘されている。位取り記数法では、桁の値が数字内の「空間的位置」によって決まる。Camos（2008）は、言語数詞の情報を視空間情報に変換する処理の基盤としての視空間性ワーキングメモリの重要性を指摘している。

こういったメカニズムの捉え方は、数詞の変換処理のプロセスにワーキングメモリの関与を組み込んだADAPTモデルでの説明と親和性が高い。先述のようにADAPTモデルでは、桁数が小さくよく使用される数詞の処理が次第に長期記憶化し、変換のための手続きなしに長期記憶から直接引き出され、それによりワーキングメモリへの負荷が低減できるという発達的变化を考えている。ワーキングメモリ機能の低さが指摘されている知的障害児に対する数詞の変換処理の支援方法を考える上では、2桁程度の位取りに関する手続きを自動化することを重点的に促すこと、あるいは外的手がかりを効果的に活用して位取りの処理に対する認知的負荷を減らすことを検討す

る必要があると考えられる。

4. 知的・発達障害児における数詞の変換処理の特徴

海外を含め、知的障害児を対象として数の音から表記への変換処理の特徴を調べた研究はほとんど見られない。発達障害一般に範囲を広げて調べてみるといくつかの研究が見られるため、ここでは、それらを含めて知的・発達障害児における数の音から表記への変換に見られる特徴を、先行研究に基づいて概観する。

Bertella, Girelli, Grugni, Marchi, Molinari, & Semenza (2005) は、イタリア人のプラダー・ウィリ症候群患者の算数スキルを調べる中で数詞の変換処理についても調査している。プラダー・ウィリ症候群は15番染色体の遺伝子異常を原因とし、知的障害を伴うことが知られている。認知面の特徴については、ジグソーパズルが得意であること、算数困難が見られること、短期記憶の弱さがあることが指摘されている (Donaldson, Chu, Cooke, Wilson, Greene, & Stephenson, 1994)。ジグソーパズルや迷路等が得意であることから何らかの特異な視覚認知能力を有すると考えられるが、認知検査における視覚認知課題の成績が高いというわけではなく (前田・斎藤・田中・村松・加藤・鹿島, 2003)、その詳細はよく分かっていない。この研究の対象者の知能検査 (WAIS) プロフィールをみると、全検査IQを一致させた知的障害者と比較して算数の成績が有意に低いこと、視覚認知機能を反映する積木模様の成績に違いがないことが確認されている。この研究では、境界線を含む軽度の知的障害 (IQのレンジは55から77、平均64.8) を伴う12名のプラダー・ウィリ症候群患者 (平均生活年齢24歳9か月) について、基礎的な計数スキル、数の理解、数詞の変換、計算スキルを調べた。このうち数詞の変換において、アラビア数詞の①読みと②書き (1桁から5桁)、③書記言語数詞からアラビア数詞への変換、及び④その逆を行なった。アラビア数詞の読みと書きを比較すると、読み (91.4%) の方が書き (84.8%) よりもやや正答率は高かった。誤答には、数詞内の語彙要素の置き換えである語彙エラー、統語構造の誤りに関する統語エラー、統語的な誤りと語彙要素の置き換えがともにみられる混合エラーが見られたが、どの課題においても共通して統語エラーが最も多く見られた。本研究で着目する数詞の書き (音から表記への変換) に見られた誤りについて、詳細な分析はないものの、two hundred and forty-five を20045とすることを例に挙げ、単語ごとの変換を行っていることに由来する上書きルールの誤りが背景にあると推察している。知能検査の下位検査のデータとの関連は検討されていない。

知的障害と関連する研究以外では、発達性言語障害児、算数の学習に困難を示す児童を対象としたものがある。Donlan (1993) は、発達性言語障害児が1桁の数を定型発達児と同様に数詞の変換ができたとしても、2桁の数では数が大きくなるほど困難が生じることを報告している。Moura, Wood, Pinheiro-Chagas, Lonnemann, Krinzinger, Williams, & Haase (2013) は、通常の小学校に通う児童を対象として算数の学習上の困難と数詞の変換能力との関連を調べた。ここでいう算数の学習に困難を示す児童 (以下、算数困難群) は、学習到達度テストの算数セクションの成績が全体の25パーセンタイルを下回る者であり、当該テストの成績が25パーセンタイル以上の者を対照群とした。対照群、算数困難群をそれぞれ低学年 (1、2年生) と中学年 (3、4年生) に分けて比較を行なったところ、算数困難群では学年に関わらず数詞の変換の成績が対照群よりも低かった。

プラダー・ウィリ症候群患者に関する Bertella, Girelli, Grugni, Marchi, Molinari, & Semenza (2005) の研究、及び算数困難児に関する Moura, Wood, Pinheiro-Chagas, Lonnemann, Krinzinger, Williams, & Haase (2013) の研究では、誤りの分析が行われている。プラダー・ウィリ症候群患者の数詞の変換に見られた誤りは、定型発達児の発達過程に見られる傾向と同じく語彙面よりも統語面に顕著であった。算数困難児についても同様

であり、学年に関わらず統語エラーの出現が顕著であった。これは、数詞の変換における統語処理に伴う認知的負荷が、語彙処理に伴うものよりも一般的に大きいことを意味していると考えられる。定型発達児の数詞の処理過程においても統語処理の認知的負荷が特に大きいことを考慮すれば、知的障害児の数詞の変換過程においても統語処理の困難が共通して見られることが予想され、支援の検討においては統語規則の獲得や処理の効率化を図ることが鍵となると考えられる。

5. 今後の検討すべき課題

本研究では、口頭で提示された数詞をアラビア数字に変換する、数詞の変換処理のメカニズムについて、代表的な認知心理学的モデルである意味表現モデルと非意味表現モデルを概観し、その意義をそれぞれ考察してきた。前者については McCloskey らのモデル、後者については Seron らの ADAPT モデルが代表的なものだが、McCloskey らが数の大きさに関する表象の生成を必須のプロセスとしているのに対して、Seron らは変換手続きの解明を重視するものであった。これまでの研究を概観すると、これらのモデルをもとに、知的障害児における数詞の変換処理の特徴を分析した研究はほとんど見られない。しかし、知的障害児が数詞の変換処理に困難を示すことは、経験的によく知られている。特別支援学校、特別支援学級の児童・生徒の学校卒業後の生活において、時間やお金などと無縁の生活は考えられず、数を生活の中で有効に活用すること、またその活用の中で数字を適切に扱うことは社会生活での自立の課題の一つと言える。

今後、知的障害児における数詞の変換処理の困難を分析し、軽減する支援方法を検討する上で検討すべき課題としては、第一に、知的障害児の数詞の変換処理の特徴を把握する観点を、上述の認知神経心理学的変換処理モデルに則して整理し、支援法の方向性を検討する必要がある。また、このことと関連して、知的障害児教育において数の理解がどの程度求められているのか、数の理解についてどのような課題が認識されているのか、社会生活を送る準備として数の理解に関する学習をどのように進めていく必要があると認識されているかといったことを、特別支援学校高等部の教員を中心として意識調査することも重要である。それによって、日常生活の文脈において妥当な学習支援の方向性を明らかにすることができるであろう。

第二に、定型発達児における数詞の変換処理の発達過程を明らかにする必要がある。これまでの研究において、語彙の問題よりも統語上の問題が強く現れること、この統語処理にはワーキングメモリ機能が関係していること、またドイツ語数詞の変換の発達過程では、2桁の数の言語数詞に見られる倒置（21はドイツ語で *ein und zwanzig* : 1 と 20）をアラビア数詞に変換する際に、言語数詞の並びのままに表記してしまうという誤りが見られることが知られている。これはワーキングメモリをはじめとする実行機能の未成熟との関連をうかがわせる知見である。知的障害児においてワーキングメモリ（例えば、Henry, & MacLean, 2002）をはじめ、実行機能の低さ（例えば、Alloway, 2010; 池田, 2013）を指摘する研究は多い。知的障害児における、数詞の変換処理にみられる特徴を十全に分析する上では、実行機能と関連づけて定型発達児の発達過程を把握しておく必要がある。しかしこういったことに関する本邦の研究は見られない。

最後に、これらの検討を支える数詞の変換処理に関するモデルを、日本語の数表現にそってアレンジすることが必要である。既に述べたように、日本語の表現には、英語等の teens にあたるものがない。また英語等が、3桁をまとまりとする表現である一方で、日本語は4桁をまとまりとす

る表現となっている。こういった言語の構造上の違いを踏まえつつ、合わせて日本の算数教育の文脈を考慮して数詞変換のモデルを考える必要がある。学校教育における算数教育のプロセスは、日本語環境における子どもの数の理解や操作の発達過程を踏まえて形作られている。これまで見てきたように、数詞の変換処理に関する先行研究のほとんどは海外のものであり、その知見を日本語環境での教育の文脈へ直接的に持ち込むことには無理がある可能性がある。

引用文献

- Alloway, T. P. (2010) Working memory and executive function profiles of individuals with borderline intellectual functioning. *Journal of Intellectual Disability Research, 54*, 448-456.
- Barrouillet, P., Camos, V., Perruchet, P., & Seron, X. (2004) ADAPT: A developmental, asemantic, and procedural model for transcoding from verbal to Arabic numerals. *Psychological Review, 111*, 368-394.
- Bertella, L., Girelli, L., Grugni, G., Marchi, S., Molinari, E., & Semenza, C. (2005) Mathematical skills in Prader-Willi syndrome. *Journal of Intellectual Disability Research, 49*, 159-169.
- Camos, V. (2008) Low working memory capacity impedes both efficiency and learning of number transcoding in children. *Journal of Experimental Child Psychology, 99*, 37-57.
- Deloche, G., & Seron, X. (1987) Numerical transcoding: A general production model. In G. Deloche & X. Seron (Eds.), *Mathematical disabilities: A cognitive neuropsychological perspective*, Routledge, Abingdon, UK, 137-170.
- Donaldson, M. D. C., Chu, C. E., Cooke, A., Wilson, A., Greene, S. A., & Stephenson, J. B. P. (1994) The Prader-Willi syndrome. *Archives of Disease in Childhood, 70*, 58-63.
- Donlan, C. (1993) Basic numeracy in children with specific language impairment. *Child Language Teaching and Therapy, 27*, 223-237.
- 古池若葉 (2013) 幼児における数字の読みと書きの発達. 京都女子大学発達教育学部紀要, 9, 89-94.
- 古池若葉 (2016) 数表記・数詞・具体物の三項関係に関する論考. 京都女子大学発達教育学部紀要, 12, 99-106.
- Fuson, K.C. (1990) Conceptual structures for multiunit numbers: Implications for learning and teaching multidigit addition, subtraction, and place value. *Cognition and Instruction, 7(4)*, 343-403.
- Grana, A., Lochy, A., Girelli, L., Seron, X., & Semenza, C. (2003) Transcoding zeros within complex numerals. *Neuropsychologia, 41*, 1611-1618.
- Henry, L. A., & MacLean, M. (2002) Working memory performance in children with and without intellectual disabilities. *American Journal on Mental Retardation, 107*, 421-432.
- 池田吉史 (2013) 発達障害及び知的障害と実行機能. SNE ジャーナル, 19(1), 21-36.
- 前田貴記・斎藤文恵・田中葉子・村松太郎・加藤元一郎・鹿島晴雄 (2003) プラダー・ウィリ症候群で認められる特異な視覚認知能力について. 認知リハビリテーション, 160-165.
- Malone S., Heron-Delaney, M., Burgoyne, K., Hulme, C. (2019). Learning correspondences between magnitudes, symbols and words: Evidence for a triple code model of arithmetic development. *Cognition, 187*, 1-9.

- 牧野桂一 (2010) 入門期の数の理解につまずく学習障害児の算数指導. 筑紫女学園大学・短期大学部人間文化研究所年報, 21, 219-234.
- McCloskey, M. (1992) Cognitive mechanisms in numeral processing: Evidence from acquired dyscalculia. *Cognition*, 44, 107-157.
- McCloskey, M., Caramazza, A., & Basili, A. (1985) Cognitive mechanisms in number-processing and calculation: Evidence from dyscalculia. *Brain and Cognition*, 4, 171-196.
- Miura, I. T., Okamoto, Y., Kim, C. C., Steere, M., & Falyol, M. (1993) First graders' cognitive representation of number and understanding of place value: Cross-national comparisons-France, Japan, Korea, Sweden, and United States. *Journal of Educational Psychology*, 85, 24-30.
- Miura, I., Okamoto, Y., Kim, C., Steere, M. & Fayol, M. (1994) Comparisons of cognitive representation of number: China, France, Japan, Korea, Sweden, and the United States. *International Journal of Behavioral Development*, 17, 401-411.
- Moura, R., Wood, G., Pinheiro-Chagas, P., Lonnemann, J., Krinzinger, H., Willmes, K., & Haase, V. G. (2013) Transcoding abilities in typical and atypical mathematics achievers: The role of working memory and procedural and lexical competencies. *Journal of Experimental Child Psychology*, 116, 707-727.
- Power, R. J. D., & Dal Martello, M. F. (1990) The dictation of Italian numerals. *Language and Cognitive Processes*, 5, 237-254.
- Power, R. J. D., & Longuet-Higgins, H. C. (1978) Learning to count: a computational model of language acquisition. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B*, 200, 391-417.
- Seron, X., & Fayol, M. (1994) Number transcoding in children: A functional analysis. *British Journal of Developmental Psychology*, 12, 281-300.
- スロン, X. (1995) 須賀哲夫・久野雅樹 (訳) 認知神経心理学. 白水社.
- Teubal, E., & Dockrell, J. E. (2005) Children's developing numerical notations: The impact of input display, numerical size and operational complexity. *Learning and Instruction*, 15, 257-280.
- 山口真希 (2012) 知的障害児における数概念の発達と均等配分の方略. 発達心理学研究, 23(2), 191-201.
- Zuber, J., Pixner, S., Moeller K., Nuerk, H., (2009) On the language specificity of basic number processing: Transcoding in a language with inversion and its relation to working memory capacity. *Journal of Experimental Child Psychology*, 102, 60-77.

(2020年9月30日提出)
(2020年11月10日受理)