

「単位」概念の構築に関する基礎的研究 ～計量単位に関するコンセプトマップを使った分析～

福岡 敏行*・大貫 麻美**・金子 祐子***

A Study on the Constructing Concept of Units

Toshiyuki FUKUOKA, Asami OHNUKI, Yuko KANEKO

要 旨

メートル法に関連する計量単位のうち、中学校以降の数学や理科で扱う多くの単位は、小学校の算数で学習した単位を基盤としている。そのため、小学校6年の1学級で、子どもが構築しているメートル法に関連する「単位」概念をコンセプトマップ法により調査した(図1)。

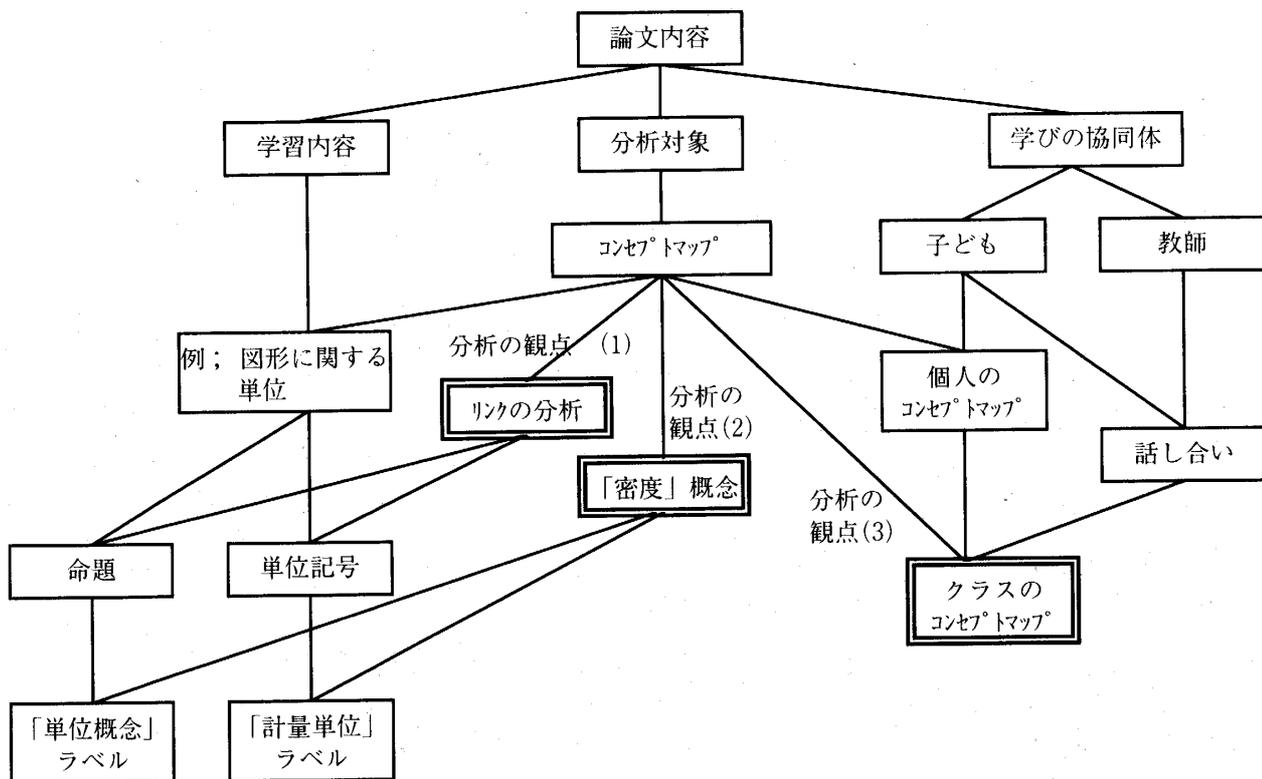


図1. 本論文の要旨を示すコンセプトマップ

図1に示すように、分析対象は、学級内の個々の子どもが作成した「図形に関する単位」についてのコンセプトマップと、クラス全体での話し合いの内容を教師が黒板に表したコンセプトマップである。分析の観点は、個人のコンセプトマップ上に見られるリンクの分析、「密度」概念に関する分析、クラスで作成したコンセプトマップ上に見られる概念の分析である。また、調査結果の概要は、以下の通りである。

- ・「cm」が長さを示す計量単位、「cm²」が面積を示す計量単位、「cm³」が体積を示す計量単位であることは、多くの子どもが共有している概念であった。
- ・「cm²」にくらべ、「ヘクタール」が面積の計量単位であるという認識は低かった。
- ・「cm³」にくらべ、「リットル」が体積の計量単位であるという認識は低かった。
- ・「リットル」と「g」の関連は認識しているが、その二つの違いは曖昧な子どもが多かった。

これらの結果から、小学校算数における「ヘクタール」や「リットル」の学習、あるいは中学校の理科における「密度」の学習について、概念の構築に有効な観点を考察した。

1. はじめに

小学校の算数で学習する「単位」概念は、中学校以降の数学や理科の学習におけるさまざまな場面で非常に重要な役割を果たす。しかしながら、計量単位を知っている子どもが、その記号によって示される「単位」概念についても正確に理解しているとは言い切れない。とくに、中学校の理科において「密度」概念を正確に理解している子どもの割合が低いことは、以前から指摘されている¹⁾。

「密度」概念は、理科教育において、光や音、力、電気、磁気など物理学領域で取り扱うさまざまな現象の理解に関わるのみならず、化学領域では溶液の性質などの理解、生物学領域では生体を構成する物質などの理解、地学領域ではマントル対流などの理解に関わっている。このように「密度」概念は、多様な内容領域に広く関わる重要な基礎的概念であるといえる。

平成10年に改訂された現行の小学校学習指導要領では、「密度」に関連する内容として、4年の理科で空気と水に圧力を加え、変化を調べる学習があり、5年および6年の理科で水溶液の性質についての学習がある。また、6年の算数で「単位量あたりの大きさ」の学習時に「人口密度」について学習する機会はあると考えられるが、理科や算数で、物質の「密度」についてとくに扱う学習の機会は設けられていない。また、中学校学習指導要領では、「密度」の学習について、「同じ体積でも質量が異なるものがあることを知る程度」としている。しかしながら、「密度」概念の構築が曖昧なまま、温度が上がり、膨張した空気が上昇するという現象について学習することは、誤った概念を構築する要因となることが指摘されている²⁾。これは、「密度」概念の構築が、理科における他の内容の理解にとって、非常に重要な課題であることを示しているといえよう。

「密度」概念を理解するためには、物質の「質量」と「体積」の双方の概念が構築されている必要がある。中学校学習指導要領では、「密度」に関する学習が「身のまわりの物質」の中に設定されている。この内容は、学習指導要領に記載された文章の中でも、「身近な物理現象」の次にあげられており、冒頭に近い。学校の授業でも、1年の理科に組み込まれていることが多いと思われる。一方で、「質量と重さの違い」は学習指導要領からはずされている³⁾。このことから、「密度」概念を学習する際に重要な「質量」概念と「体積」概念の構築については、小学校における学習が大きく影響するといえよう。

しかし、小学校における学習において、物質の質量や体積に関する計算や単位換算などは、主に

算数の授業で扱われており、「質量」概念と「体積」概念を構築する主な機会は算数領域となっていると考えられる。そのため、本論文では、小学校で学習する「図形」に関する「単位」概念に着目し、6年の算数の時間で、子どもが構築している既存概念について分析した結果を報告する。

本研究を行うにあたり、子どもが認知している概念ラベルと構築している概念とを表出する手法としてコンセプトマップ法を用いた。

2. 調査の方法

子どもの実態に関する調査は、神奈川県内にある公立小学校第6学年の1学級の子ども25名を対象として行った。

まず、体積と表面積に関する計算問題を行って復習をした後に、子どもは個人で、図形に関する単位についてコンセプトマップの作成を行った。

コンセプトマップの作成は、調査者が用意した用紙とラベルシールを用いて行った。その際に調査者が提示した概念ラベルは「体積」「面積」「図形」「g」「cm」「cm²」「cm³」「リットル」「ヘクタール」「長さ」「大きさ」である。これらの言葉の他に関連する言葉がある場合には、各自で自由に追加してよいこととした。ここまでの活動は個人で行い、相談はしないように指示した。

大多数の子どもがコンセプトマップの作成を終えた後に、クラス全体で黒板を使用したコンセプトマップづくりを行った。クラスでのコンセプトマップの作成は子どもの発言を教師が板書する形で行い、発言などは、通常、学級で行われている授業進行と同様の形式で行った。

分析の対象は、授業後に回収した個人のコンセプトマップと、VTRで撮影したクラスでのコンセプトマップである。

3. 分析の方法

個人で作成したコンセプトマップを回収し、その中に見られるリンクに着目して分析を行った。個々の子どもが作成したコンセプトマップは資料として論文の最後に載せている。

図1で示した分析の観点の詳細を以下に示す。(1)と(2)は個々の子どもが作成したコンセプトマップについての分析の観点であり、(3)はクラスで作成したコンセプトマップについての分析の観点である。

(1) 『計量単位』ラベルと、呼応する『単位概念』ラベルとのリンクの分析

調査者が予め提示した概念ラベルは、すべてメートル法の計量単位に関連している。「図形」ラベル以外の概念ラベルは大別すると、ふたつの階層に分類できる(図2)。ひとつは「図形」に関する『単位概念』を示す階層で、もうひとつは使用する『計量単位』を示す階層である。本論文ではそれぞれの階層にある概念ラベルを『単位概念』ラベル、『計量単位』ラベルとする。

調査者が提示した概念ラベルのうち、「体積」「面積」「長さ」「大きさ」が『単位概念』ラベルであり、「g」「cm」「cm²」「cm³」「リットル」「ヘクタール」は『計量単位』ラベルである。多くの子どものコンセプトマップに共通して見られる『単位概念』ラベルと『計量単位』ラベルのリンクから、多くの子どもに共有されている概念を分析した。

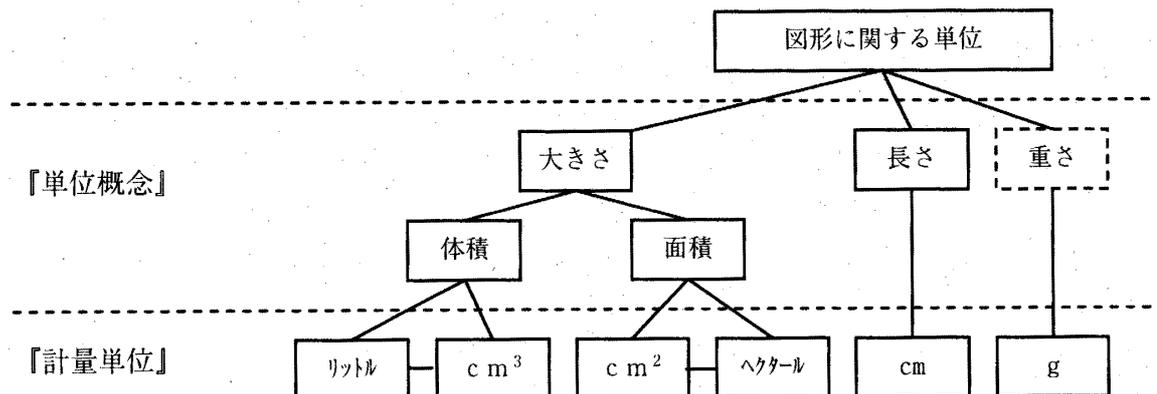


図2. コンセプトマップ作成時に子どもが使用する概念ラベルを二つの階層に分類したコンセプトマップ

『単位概念』と『計量単位』は階層を示す。「重さ」ラベルは、子どもが追加すると予想される概念ラベルで、そのほかの『単位概念』と『計量単位』はコンセプトマップ作成時に調査者から提示した概念ラベルである。

(2) 「密度」概念に関するリンクの分析

コンセプトマップの内容から密度に関する概念を分析した。「密度」概念には「体積」概念と「質量」概念が関わる。

まず、「体積」概念に着目して、コンセプトマップに見られるリンクから分析した。具体的には、「体積」概念に関係する概念ラベルである「cm³」ラベルや「リットル」ラベルと、「体積」ラベルとのリンクの状況を調べた。

また、とくに多くの子どもに見られる誤概念は、前述したように中学校における数学や理科の学習において大きな影響を与えるであろうと予想される。そのため、これらの誤概念についても調べた。

(3) クラスで作成したコンセプトマップの分析

クラス全体の話し合いの中で作成されたコンセプトマップからクラスに共有されている概念を分析した。また、個々の子どもが作成したコンセプトマップと比較し、クラスで作成したコンセプトマップの内容が、多くの子どもに共有されている概念と共通することを確認した。

4. 分析の結果と考察

(1) 『計量単位』ラベルと、呼応する『単位概念』ラベルとのリンクの分析結果と考察

子どもがコンセプトマップを作成したときに、提示された『計量単位』ラベルが、どの『単位概念』と呼応すると考えられているかをリンクから調べた(表1)。

その結果、多くの子どもに共通しているリンクが、3つ確認された。全25名中、22名(88%)が記述している「長さ」と「cm」とのリンク(表1;リンクA)、21名(84%)が記述している「面積」と「cm²」とのリンク(表1;リンクB)、19名(76%)が記述している「体積」と「cm³」とのリンクである(表1;リンクC)。そのほかの『計量単位』ラベルについても調べた。その結果、「ヘクタール」を「面積」の計量単位であるとした子どもが6名であった(表1;リンクD)。また、6名の子どもが「ヘクタール」は「大きさ」の計量単位であるとしていた(表1;リンクE)。あわせると12名(48%)の子どもが、「ヘクタール」を「面積」や何かしらの「大きさ」を示す計量単位であると考えていることがわかった。一方で、「ヘクタール」を「長さ」の計量単位であると考えている子どもは4名(16%)であった(表1;リンクF)。これらの結果から、「cm」が長さを示す計量単位であること、「cm²」が

面積を示す計量単位であること、「 cm^3 」が体積を示す計量単位であることは、多くの子どもが共有している概念であると考えられる。メートル法は算数の授業の中で、小学校の低学年から使用している。「 cm^2 」は小学校4年で、「 cm^3 」は小学校6年で学習するが、メートル法が既存概念として定着しているため有意義学習が容易であったと考えられる。

一方、「ヘクタール」も「 cm^2 」と同様にメートル法の面積の単位のひとつである。小学6年の算数で、1ヘクタールは「1辺の長さが100mの正方形の面積を表す単位」であることを学習している。しかし、「ヘクタール」は、国際単位系(SI)の基本単位ではなく、国内でも、「政令で定める特殊の計量に用いる」単位のひとつとして、「土地の面積の計量」のための計量単位とされている⁴⁾。また、政令で定める「ヘクタール」の定義は、「(平方メートルの百倍である)アールの百倍」である。この「ヘクタール」という単位がSIの基本単位ではないにもかかわらず使用されている理由は、「 1m^2 」と「 1km^2 」との間には100万倍の開きがあり、その間の面積を表すのに便利であるためと考えられる。

表1. 子どものコンセプトマップに見られる『単位概念』—『計量単位』のリンクと、それを作成した子ども

(リンクは、子どもが追加したラベルの挿入などにより直結していない場合もある。)

作成した子ども；それぞれのリンクを作成した子ども(論文末の資料と同じ記号C01~C25で示した。)人数(割合)；各リンクを作成した子どもの人数、()内は全25人中の割合を示している。

『単位概念』—『計量単位』		作成した子ども	人数 (割合)
リンクA	「長さ」—「 cm 」	C01, C02, C03, C05, C06, C07, C09, C10, C11, C12, C13, C14, C15, C16, C17, C18, C19, C20, C21, C22, C23, C24	22(84%)
リンクB	「面積」—「 cm^2 」	C01, C03, C05, C06, C07, C08, C09, C10, C11, C12, C13, C14, C15, C16, C17, C18, C19, C20, C22, C23, C24	21(84%)
リンクC	「体積」—「 cm^3 」	C01, C03, C05, C06, C07, C09, C10, C11, C12, C13, C14, C15, C16, C17, C19, C20, C22, C23, C24	19(76%)
リンクD	「面積」—「ヘクタール」	C01, C12, C13, C14, C22, C24	6(24%)
リンクE	「大きさ」—「ヘクタール」	C08, C10, C11, C16, C24, C25	6(24%)
リンクF	「長さ」—「ヘクタール」	C18, C20, C21, C23	4(16%)
リンクG	「体積」—「リットル」	C12, C14, C21, C22	4(16%)
リンクH	「量」—「リットル」	C11, C24	2(8%)
リンクI	「重さ」—「リットル」	C10, C13, C14	3(12%)
リンクJ	「大きさ」—「リットル」	C25	1(4%)
リンクK	「重さ」—「 g 」	C10, C13, C14, C19, C23	5(20%)
リンクL	「大きさ」—「 g 」	C08, C18	2(8%)
リンクM	「量」—「 g 」	C11, C24	2(8%)
リンクN	「体積」—「 g 」	C21, C22	2(8%)
リンクO	「長さ」—「 cm^2 」	C21	1(4%)
リンクP	「大きさ」—「 cm^3 」	C25	1(4%)
リンクQ	「大きさ」—「 cm^2 」	C25	1(4%)
リンクR	「体積」—「 cm^2 」	C18	1(4%)
リンクS	「大きさ」—「 cm 」	C08	1(4%)
リンクT	「面積」—「 cm 」	C14	1(4%)
リンクU	「体積」—「 cm 」	C14	1(4%)
リンクV	「直方体」—「 g 」	C25	1(4%)

しかしながら、現在の子どもの日常生活において、「ヘクターール」あるいは「アール」を利用した土地の計測が行われる場面は少ないと考えられる。そのため、これらの計量単位を学習する際には、既存の「面積」概念を拡張する必要性を子ども自身が認識し、「ヘクターール」あるいは「アール」の有効性を実感できるような学習の場が求められるであろう。

残る計量単位である「リットル」と、「g」に関する分析と考察は、次の節で詳述する。

(2) 「密度」概念に関するリンクの分析結果と考察

「体積」ラベルには、計量単位である「 cm^3 」ラベルと「リットル」ラベルとがリンクすると考えられる。このうち、「 cm^3 」ラベルは(1)で述べたように、多くの子どもが体積の計量単位であることを認知していた。

一方で、「リットル」ラベルを「体積」ラベルとリンクしていた子ども(表1;リンクG)は全25名中4名(16%)のみであった。「量」ラベルとリンクしていた子どもは2名(表1;リンクH)、「大きさ」ラベルとリンクしていた子どもは1名(表1;リンクJ)であった。「重さ」ラベルとリンクしていた子ども(表1;リンクI)は3名おり、そのうち1名(C14)は「体積」ラベルともリンクさせていた。どの『単位概念』ラベルとのリンクもなかった子どもは15名(60%)であった。また、「リットル」は小学校3年生の算数で初出であるが、その際に使われる「かさ」という単位概念を表出した子どもは1人もいなかった。これらの結果から、「リットル」ラベルは「 cm^3 」にくらべて体積の計量単位であるという認識が低いことがわかった。

「リットル」という計量単位の定義は、現在、メートル法に基づき、「立方メートルの千分の1」とされている⁴⁾。しかしながら、子どもが構築する「リットル」概念は、日常生活から飲料製品などと強く結びついていることが考えられる。また、そのことを活かした学習実践も多くなされている⁵⁾。こうした実践は、リットルが液体を計量する際の単位であるという既存概念を、数量比較や小数の計算に取り入れ、「量と測定」や「数と計算」、「数量関係」などについて有意味学習を行うものであるといえる。一方で、ペットボトルやビーカー等の容器で計量するといった経験は、メートル法による定義とは直結するものではないため、メートル法に基づく「リットル」の定義そのものとの関連が薄くなりがちであるといえる。そのため、計量単位としての定義が曖昧になり、一部の子どもに質量との混同や、『単位概念』ラベルとのリンクの無記入など曖昧な概念構築が見られたものと考えられる。

次に質量に関する計量単位である「g」ラベルについて分析した。「g」は質量の計量単位であるが、小学校算数における学習では「質量」概念は「重さ」の言葉で示される。今回のコンセプトマップ作成時には、「g」に呼応する『単位概念』ラベルを調査者からは提示せず、子どもがどのような『単位概念』ラベルを追加するかを調査した。その結果、5名が「重さ」ラベルを追加し、「g」ラベルとリンクしていた(表1;リンクK)。また、「量」ラベルを追加しリンクしていた子どもが2名であった(表1;リンクM)。「大きさ」ラベルとリンクしていた子どもが2名であった(表1;リンクL)。「直方体」ラベルを追加してリンクしていた子どもは1名であった(表1;リンクV)。一方で「体積」ラベルとリンクしていた子どもが2名いた(表1;リンクN)。また、「g」ラベルをどの『単位概念』ラベルともリンクしなかった子どもは9名であり、「g」ラベルを使用しなかった子どもは3名であった。

また、「g」ラベルと「リットル」ラベルをリンクした子どもは12名(全体の48%)であった。このリンクのリンクワードは「重さ」や「重さの単位はg、水の重さの単位はℓ」「1リットルは1kg」など、両方を重さの計量単位としている子どもが多くいた。さらに「リットル」と「g」を「量」の計量単位としている子ども2名を加えると14名(全体の56%)の子どもが、「リットル」と「g」

は関連しているという概念はあるが、その二つの違いは曖昧であることがわかった。

中学校理科では「密度」について、「同じ体積でも質量が異なるものがあること」を学習する。その学習時には、密度を計量する物質の質量を上皿天秤で計り、水を入れたメスシリンダー内に物質を入れ、増えた目盛りから物質の体積を計測し、密度を算出する実験を行うことが多い。この実験ではメスシリンダーを利用するため、体積を「 cm^3 」ではなく、「リットル」あるいは「ミリリットル」で計測することになる。こうした学習導入時に、「リットル」が体積の計量単位であることを明確に認識できるような支援が必要であると言えよう。

「リットル」と「g」の関連の深さは、「g」の定義の歴史とも合致している。1793年に、立方デシメートル（1mの10分の1である1dmの3乗）の体積を占める最大密度の蒸留水の質量が1kgと定義され、この質量にあわせて国際キログラム原器がつくられた。リットルの定義は、1964年まで、最大密度をもつ温度で水1kgの占める体積とされたが、1964年からは、リットルは立方デシメートルの別称となり、水とは無関係に定義されている。また、現在、キログラム原器をもとに計測すると、最大密度の水1立方デシメートルは、0.999 972 kgなので、水1リットル=0.999 972 kgとなる。こうした歴史が、小学校や中学校の算数、理科、数学等で扱われることは少ないため、子どもにとっては日常の経験から「リットル」と「g」は関連しているという実感はあるが、その関連は明確ではないと考えられる。この「リットル」と「g」の関連に着目しながら、そのふたつの違いに気づくところから密度の学習に入ることが、密度の学習を容易にする有効な支援のひとつになるといえよう。また、物質の密度ではないが、「人口密度」に関しては小学校6年の算数における「単位量あたりの大きさ」の学習や、中学校の社会科の中で扱われる。こうした内容と関連をもたせた学習も有効であると考えられる。

（3）クラスで作成したコンセプトマップの分析結果と考察

クラスにおける話し合いの中で作成されたコンセプトマップから、クラス内で共有された『単位概念』ラベルと『計量単位』ラベルとのリンクについて、表1のリンクAからVで示した（図3）。

その結果、多くの子どもが個々のコンセプトマップで記述していたリンクAからCはクラス内で共有されていることがわかった。ここからも、「cm」が長さを示す計量単位であること、「 cm^2 」が面積を示す計量単位であること、「 cm^3 」が体積を示す計量単位であることは、多くの子どもが共有している概念であるといえる。また、メートル法の関連を示すように「cm」は、「 cm^2 」と「 cm^3 」の双方とリンクされており、表1のリンクTも共有されていた。

一方、（2）で述べた「リットル」と「g」についてみると、リンクKからMに見られるように「g」は「大きさ」「量」「重さ」とリンクしている。一方で「リットル」もリンクIに見られるように「重さ」とリンクしており、「リットル」と「g」とのリンクも共有されている。このことから、（2）で述べた「リットル」と「g」との関連はこのクラス全体に共有される概念であると考えられる。

また、「g」に対して「kg」など、提示した概念ラベルに接頭語を付した『計量単位』ラベルは、子どもにより追加され、共有されていた。これらは、単位の換算などの学習から構築された概念であるといえよう。一方で、「 cm^2 」と「ヘクタール」、「 cm^3 」と「リットル」とのリンクは共有するコンセプトマップ上には構築されなかった。

上述の分析結果から、個々のコンセプトマップの分析結果がクラスで作成したコンセプトマップ上にも示されており、クラスで作成したコンセプトマップは、クラス内の子どもが多くが構築している概念を反映したものとなっていることがわかる。

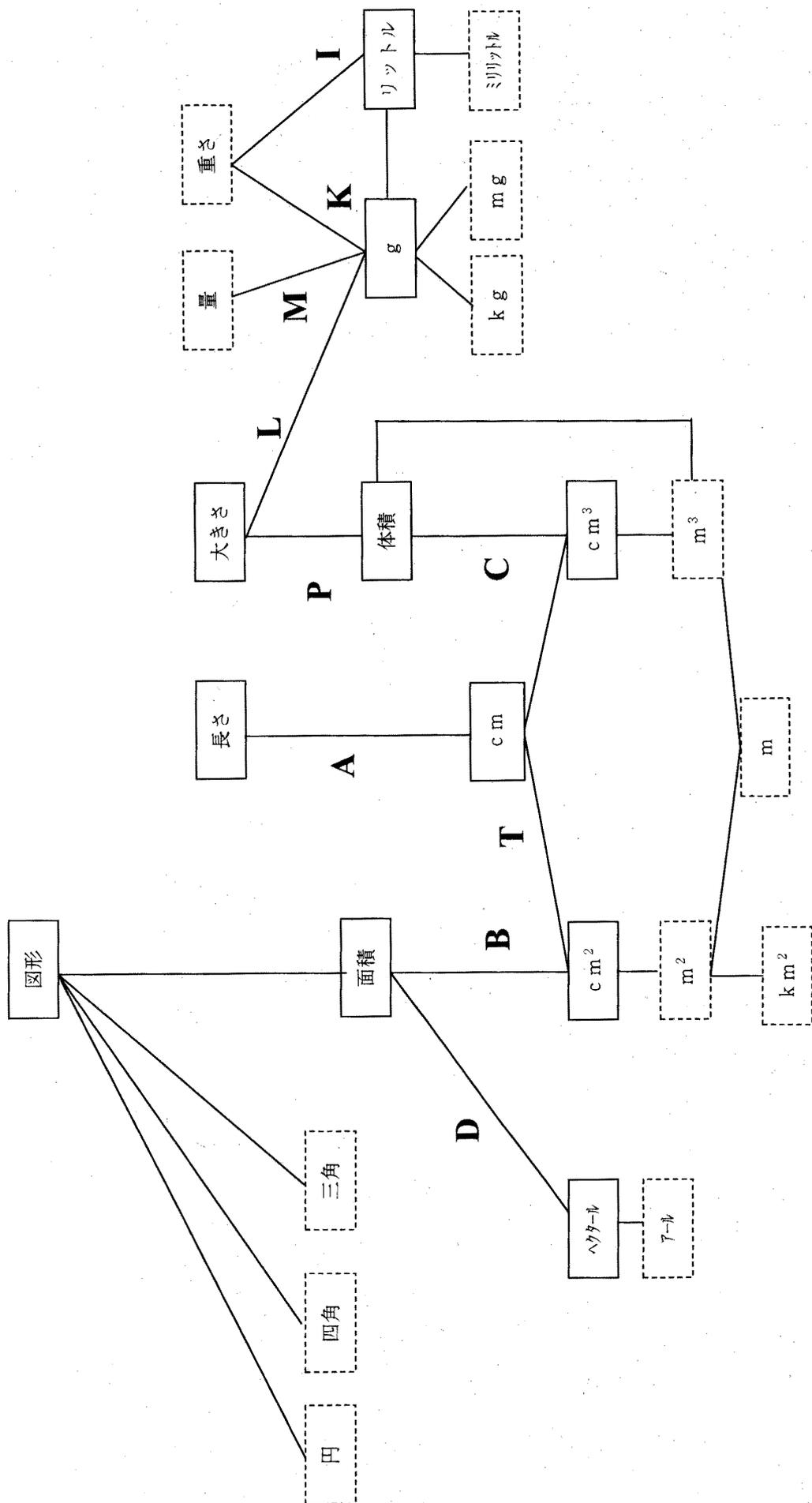


図3. クラスの話し合いの内容を教師が黒板に表したコンセプトマップ
 図中の点線の概念ラベルは子どもが追加した概念ラベルを示す。
 アルファベットA~D, I, K~M, P, Tはそれぞれ表1のリンクを示す。

5. おわりに

上述の結果をまとめ、コンセプトマップとして示した(図4)。まず、「cm」が長さを示す計量単位、「cm²」が面積を示す計量単位、「cm³」が体積を示す計量単位であることは、多くの子どもが共有している概念であることがわかった。一方、「cm²」にくらべ、「ヘクタール」が面積の計量単位であるという認識は低いことや、「cm³」にくらべ、「リットル」が体積の計量単位であるという認識は低いことがわかった。さらに、「リットル」と「g」の関連は認識しているが、その二つの違いは曖昧な子どもが多いこともわかった。

「ヘクタール」や「リットル」は、メートル法をもとに定義されるが、その単位記号からはメートル法との関連を推測しにくいいため、「cm²」や「cm³」にくらべ概念構築が困難であると考えられる。

「ヘクタール」や「リットル」といった計量単位の学習時にはこれらの点をふまえ、メートル法との関連と、その有効性を子どもが認識できるような学習支援が望まれるといえよう。

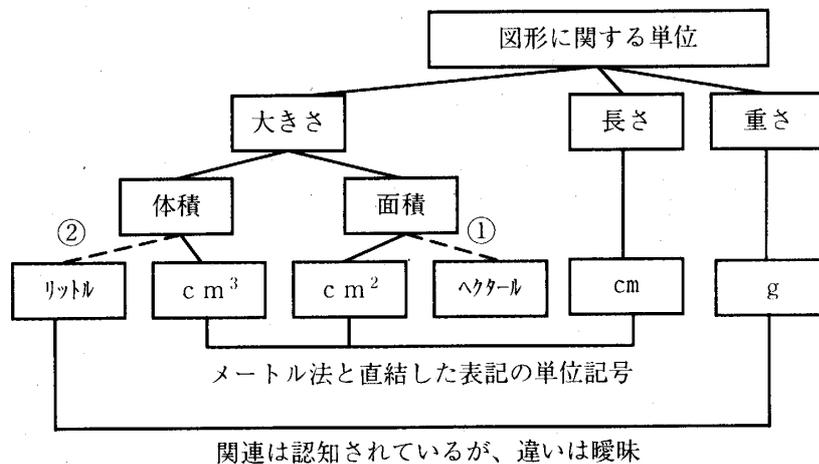


図4. 子どもが構築している概念の分析結果を示すコンセプトマップ

実線のリンク：多くの子どもが個人のコンセプトマップ上に構築し、クラスでも共有されていたリンク

①のリンク：多くの子どもが個人のコンセプトマップ上に構築しなかったが、クラスでは共有されたリンク

②のリンク：多くの子どもが個人のコンセプトマップ上に構築せず、クラスでも共有されなかったリンク

メートル法と直結した表記の単位記号に比べ、その他の単位記号の概念構築が曖昧であることがわかる。

謝 辞

本研究を行うにあたり、横須賀市立池上小学校の、前校長角徳子先生をはじめとする諸先生方にご助力いただきました。ここに感謝の意を表します。

<参考・引用文献>

- 1) 高森潤:「中学生における密度概念の理解に関する調査」, 日本理科教育学会研究紀要, Vol. 21, No. 2, pp. 1-8, 1981.
- 2) 滝川洋二:「理科離れを克服し日本の未来を理科から」, 理科資料, No. 56, 実教出版, pp. 1-5, 2004.
- 3) 兵頭俊夫:「新学習指導要領の問題点」, 覧具博義(代表), 平成12年度~平成13年度科学研究費補助金(基盤研究(C)(1))研究成果報告書『大学の物理教育改革のための調査研究』, 2002, <http://maildbs.c.u-tokyo.ac.jp/~hyodo/Edu-Report2002/main.html>
- 4) 計量単位令(平成四年十一月十八日政令第三百五十七号), <http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H04/H04SE357.html>
- 5) たとえば以下の2つの実践があげられよう
「水のかさの表し方と測り方」の指導計画
http://www.sendai-c.ed.jp/~sansuken/sensyo_sansu/1.2sidouan.htm
馬場敦義:算数科学習指導案
http://center.edu.wakayama-u.ac.jp/c_kouken/keimou/sidouan_pdf/d_s15.pdf
- 6) 森川鉄朗・西山保子:「初等中等科学教育における物理量と単位系について」, 上越教育大学研究紀要, Vol. 16, No. 1, pp. 279-28, 1996.

資料. 子どもが作成したコンセプトマップ

子どもの番号 (C01~C25) は、調査者が任意に付したものである。

リンクワードは省略し、未使用の概念ラベルはコンセプトマップ上に示していない。

作成者が自分で追加した概念ラベルは点線で表している。

