

光合成の学習に関する研究

— 教員志望学生が作成した概念地図の分析 —

山崎 敬人

(1997年9月24日受理)

A Study on Learning and Teaching about Photosynthesis

— Analysis of concept maps made by teacher trainees —

Takahito YAMASAKI

The purposes of this study are to clarify the structure and characteristics of the concept 'photosynthesis' of teacher trainees by analyzing their concept maps, and to discuss problems of learning and teaching about photosynthesis. The main results are as follows: First, the idea has been established that 'photosynthesis' is a function that makes 'sugar' from 'carbon dioxide' under 'light'. Secondly, in their concept maps 'molecule' links to 'photosynthesis' indirectly through 'carbon dioxide' or 'sugar' rather than directly. Lastly, in spite of importance of the relation between 'photosynthesis' and 'energy' in science teaching, knowledge about energy is not enough scientifically exact, and appropriate relations are not made between the concept 'energy' and other concepts. In order to promote understanding of energy in the concept 'photosynthesis', therefore, it is necessary to improve not only means and methods of teaching about photosynthesis, but also science curricula in schools.

Key words : photosynthesis, concept map, science learning, 光合成, 概念地図, 理科学習.

I. はじめに

光合成は、植物の生命活動を理解するだけでなく、自然界における物質循環やエネルギーの流れを理解する上でも極めて重要な学習テーマである。このテーマは小学校、中学校、高等学校のいずれの学校段階でも取り扱われており、現行の学習指導要領によれば、小学校理科の第6学年では、光合成という用語は取り扱われないものの、植物に日光があたるとデンプンができることが学習される。また、中学校理科では、光合成は主に第1学年で取り扱われ、植物が光を受けると二酸化炭素と水を材料としてデンプンを合成し、酸素を放出することなどが学習される。さらに、高等学校では、光合成は主に生物I Bと生物IIにおいて、光合成の反応の生化学的なきみや生態系における

物質循環とエネルギーの流れなどの視点から学習されるようになっている(文部省1989a、1989b、1989c)。ところで、近年、自然の現象や事象についての学習者の認識や概念に関する研究が多様な視点や立場から様々な方法で行われてきている(中山1996a、中山1996b)。光合成についてもその例外ではなく、諸外国ではBarker, M. and Carr, M. (1987a、1987b)、Haslam, F. and Treagust, D. F. (1987)、Stavy, R., Eissen, Y. and Yaakobu, D. (1987)、Stavy, R. (1988)、Anderson, C. W., Waheed, T. and Lucas, A. M. (1992)、Eisen, Y. and Sheldon, T. H. and Dubay, J. (1990)などの研究が報告されている。また、光合成に対する認識や概念を直接の対象とした日本での研究としては、藤田(1986)の研究がある。この研究では、高校2年生の光合成概念が単語連想法と概

念関連記述法を用いて調査・分析されている。

そこで、本研究では概念地図法 (concept mapping) により光合成概念の構造を探ることとした。J.D.ノヴァック&D.B.ゴウイン (1992) やWhite, R. and Gustone, R. (1993) よれば、概念地図法は概念間の有意味な関係や概念の命題に関する構造を探る方法である。概念地図を用いた日本での研究として、水溶液の性質の概念に関する研究 (福岡・笠井1991、福岡・植田1992)、地層概念に関する研究 (田中・宮脇1992)、プレートテクトニクスに関連した概念についての研究 (大辻・赤堀1994) などがすでに報告されているが、光合成概念を対象としたものは見あたらない。

また、本研究では、教員志望学生を調査の対象とすることにより、小学校からの学校教育などを通じて形成された光合成概念の知識構造を探り、光合成の学習に関する課題や問題点についても検討したい。

II. 光合成に関する概念地図の作成の手順

中学校理科及び高等学校理科の教員免許状を取得する上で必修の講義を受講していた大学2年生43人を対象とし、1997年1月、光合成についての概念地図を作成させた。概念地図の作成の手順は、White, R. and Gustone, R. (1993) に準じた。

その際、概念地図の作成に用いるラベルとして「光合成」、「二酸化炭素」、「糖」、「分子」、「光」、「エネルギー」、そして「化学的エネルギー」の7個を与えた。これらのラベルのうち、「二酸化炭素」、「糖」、「分子」の3個のラベルは光合成に関係する物質を表すものであり、「光」、「エネルギー」、「化学的エネルギー」の3個のラベルは光合成に関係するエネルギーの視点を表すものである。但し、与えられた7個以外のラベルを追加して用いてもよいこととした。そして、あるラベルと他のラベルの間に関係があると考えた場合には、それらのラベルを線で結び、その関係を説明する言葉や文を書き添えるように求めた。

III. 光合成に関する概念地図の分析の視点と方法及び結果

作成された概念地図は、ラベル間のリンクの関係や複雑さなどの点で多様なものであった。それらのうち二例を図1-1と図1-2に示す。これ

ら2つの概念地図を比較すると、例えばラベル間のリンクと説明は図1-1よりも図1-2の方が複雑であることがわかる。しかし、いずれの概念地図も、明確な階層性を帯びたものというよりは「ネットワーク型」(大辻・赤堀1994)のものであり、このことは他のほとんどの概念地図でも同様であった。

また、作成された概念地図の中には、幾つかのラベルが線で囲まれているものや、ラベルが化学反応式のように表記されているものがあった。このような概念地図ではラベル間の関係が不明確であったため、それら6人分を除いた37人分の概念地図を分析の対象とした。したがって、以下で述べる被験者とは、分析対象としたこれら37人を指すこととする。

以下に、分析の視点と方法ごとにその結果を述べる。

1. 各ラベルに対する一次リンクの数

概念地図において、あるラベルと他のラベルとの間に設定されている直接的なリンクを、一次リンクと呼ぶことにする。この一次リンクの一方のラベルが「光合成」のとき、このラベルから何本のリンクが設定されているかを各被験者の概念地図についてカウントした。同様に、一方のラベルが「糖」、「光」などのときについても、一次リンクの数をカウントした。その結果をもとに、各ラベルについて、一次リンク数ごとに該当する人数を整理した。その際、ラベルが概念地図の中で全く使用されていない場合と、ラベルが概念地図の中で使用されているものの他のラベルと全くリンクしていない場合及びそのリンクの関係が不明確な場合は、いずれもリンク数0として処理した。

さらに、各ラベルに対する37人分の一次リンク数を合計し、それをもとに1人当たりの平均一次リンク数を求めた。

これらの結果を整理したのが、表1である。

表1からわかるように、あるラベルに対して他の6個のラベルをすべてリンクさせた者は、どのラベルについても0人であった。各ラベルの最大のリンク数は、「光合成」と「糖」では5、「エネルギー」と「二酸化炭素」と「分子」では4、「光」と「化学的エネルギー」では3であった。また、該当する人数が比較的多いリンク数は、

光合成の学習に関する研究

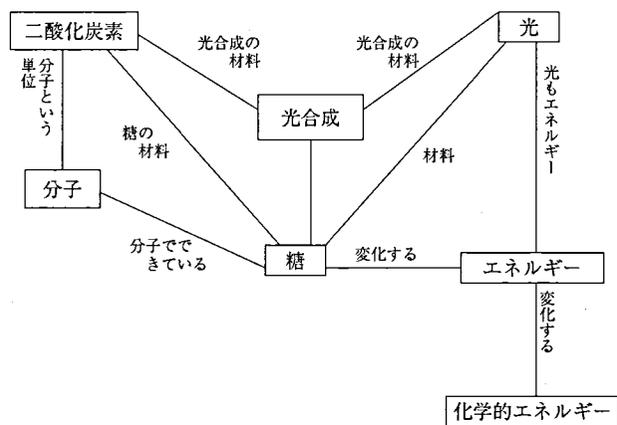


図 1-1 作成された概念地図の例 (その 1)

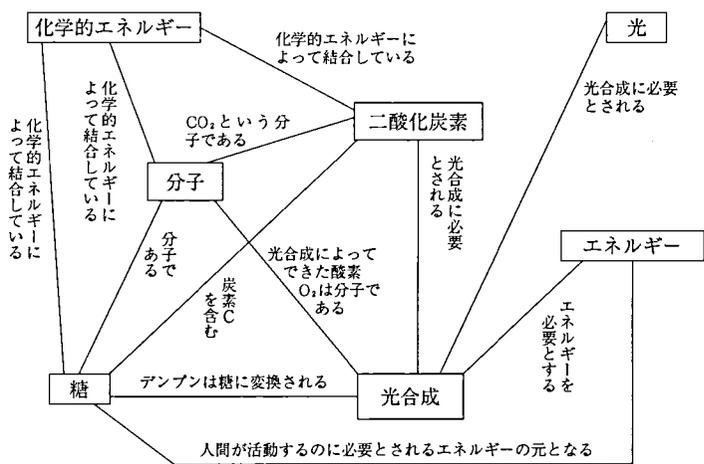


図 1-2 作成された概念地図の例 (その 2)

表 1 各ラベルに対する一次リンクの数と人数

	光合成	糖	エネルギー	二酸化炭素	分子	光	化学的エネルギー
リンク数0	0	0	1	0	2	0	1
リンク数1	0	4	8	13	8	17	18
リンク数2	2	18	13	12	21	14	11
リンク数3	13	8	11	10	5	6	7
リンク数4	13	4	4	2	1	0	0
リンク数5	9	3	0	0	0	0	0
リンク数6	0	0	0	0	0	0	0
リンクの総数	140	95	83	75	69	63	61
1人当たりの平均リンク数	3.8	2.6	2.2	2.0	1.9	1.7	1.6

「光合成」では3と4、「糖」と「分子」では2、「エネルギー」と「二酸化炭素」では1～3、「光」と「化学的エネルギー」では1と2となっていた。

また、1人当たりの平均リンク数が最も多いラベルは「光合成」で、3.8であった。他のラベルについては、多い順に、「糖」、「エネルギー」、「二酸化炭素」、「分子」、「光」、そして「化学的エネルギー」となっていた。

2. 一次リンクのラベルの組み合わせ

7種類のラベルについて一次リンクが設定されるラベルの組み合わせは、「光合成」－「二酸化炭素」、「光合成」－「糖」、「光」－「エネルギー」など、全部で21種類ある。各被験者の概念地図について、これらのラベルの間に一次リンクが設定されていた人数をカウントし、その結果を整理したのが、表2である。

また、表2をもとに、「光合成」を一次リンクの中心として見た場合のラベル別の人数の割合をグラフ化したのが、図2-1である。同様に、「二酸化炭素」、「糖」などの他のラベルを一次リンクの中心として見た場合のラベル別の人数の割合についても、図2-2～図2-7に示した。

表2からわかるように、一次リンクが設定されていた人数（割合）が最多のラベルの組み合わせは、「光合成」－「二酸化炭素」であり、35人（94.6%）であった。また、「光合成」－「光」、「光合成」－「糖」、「エネルギー」－「糖」はいずれも70%を上回っていた。さらに、「分子」－「二酸化炭素」と「分子」－「糖」は50%台であったが、他の15種類の組み合わせはいずれも50%を下回っていた。

次に、「光合成」を一次リンクの中心として見た場合（図2-1）、「光合成」と「二酸化炭素」

との一次リンクが最も多く、次にリンクが多いのは「光」及び「糖」とのリンクであった。これらのリンクの割合はいずれも70%を上回っていたが、その一方で「エネルギー」、「分子」、「化学的エネルギー」といったラベルを「光合成」の一次リンクの対象としている者の割合は、いずれも50%を下回っていた。

さらに、「光合成」以外の各ラベルを一次リンクの中心として見ると、「二酸化炭素」（図2-2）と「光」（図2-3）ではいずれも「光合成」とのリンクが最も多くなっていた。また、「糖」（図2-4）では「光合成」や「エネルギー」とのリンクが多くなっていた。しかし、「エネルギー」（図2-5）では「光合成」とのリンクよりも「糖」とのリンクが多く、「分子」（図2-6）の場合でも「光合成」とのリンクよりも「二酸化炭素」や「糖」とのリンクが多くなっていた。そして、「化学的エネルギー」（図2-7）では一次リンクの割合が50%を上回るラベルが一つもなく、「エネルギー」とのリンクが40.5%で最多となっていた。

3. 「光合成」に対する二次リンクのラベルの種類と人数

図1-1の概念地図を例として見ると、「光合成」と「糖」の間に一次リンクが設定されており、さらに、この「糖」と「エネルギー」や「分子」との間にもリンクが設定されていることがわかる。後者のようなリンクを、「光合成」に対する二次リンクと呼ぶこととする。このような二次リンクは組み合わせの上では30種類ある。

そこで、これら30種類の二次リンクの有無を各被験者の概念地図について分析し、二次リンクを設定していた人数と、「光合成」に対する一次リ

表2 一次リンクのラベルの組み合わせと人数

ラベル	光合成	二酸化炭素	光	糖	エネルギー	分子
二酸化炭素	35 (94.6)					
光	30 (81.1)	3 (8.1)				
糖	28 (75.7)	9 (24.3)	2 (5.4)			
エネルギー	18 (48.6)	4 (10.8)	16 (43.2)	26 (70.3)		
分子	15 (40.5)	22 (59.5)	1 (2.7)	20 (54.1)	4 (10.8)	
化学的エネルギー	14 (37.8)	4 (10.8)	11 (29.7)	10 (27.0)	15 (40.5)	7 (18.9)

【注】 表中の（ ）内の数字は被験者37人に対する%を示す。

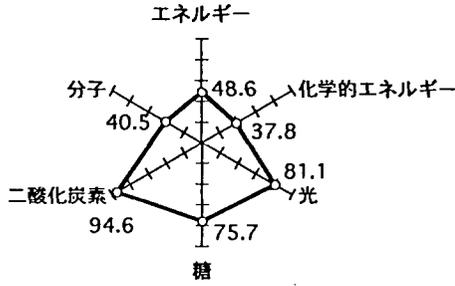


図 2-1 「光合成」に対する一次リンクの割合

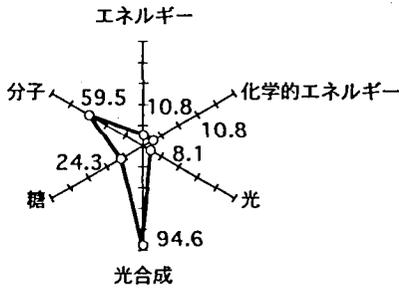


図 2-2 「二酸化炭素」に対する一次リンクの割合

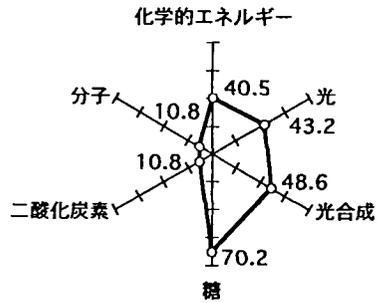


図 2-5 「エネルギー」に対する一次リンクの割合

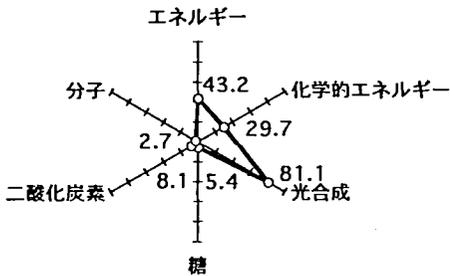


図 2-3 「光」に対する一次リンクの割合

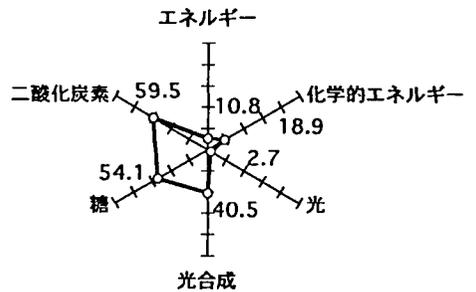


図 2-6 「分子」に対する一次リンクの割合

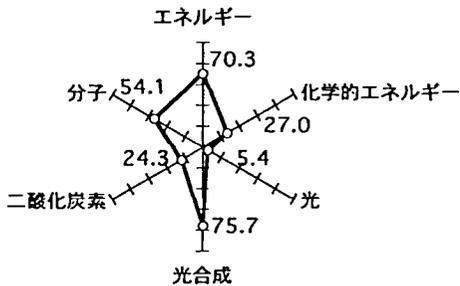


図 2-4 「糖」に対する一次リンクの割合

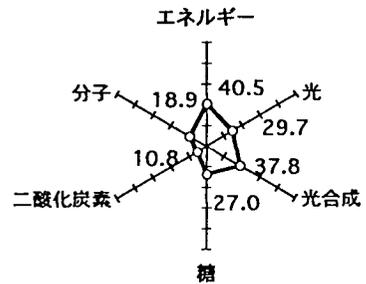


図 2-7 「化学的エネルギー」に対する一次リンクの割合

表3 光合成に対する一次リンクと二次リンクの人数

一次リンク ラベル	人数	二次リンクのラベルと人数 (割合)					
		二酸化炭素	光	糖	エネルギー	分子	化学的エネルギー
二酸化炭素	35	—	3 (8.6)	9 (25.7)	4 (11.4)	21 (60.0)	3 (8.6)
光	30	3 (10.0)	—	2 (6.7)	12 (40.0)	1 (3.3)	8 (26.7)
糖	28	7 (25.0)	2 (7.1)	—	17 (60.7)	13 (46.4)	7 (25.0)
エネルギー	18	2 (11.1)	8 (44.4)	10 (55.6)	—	3 (16.7)	6 (33.3)
分子	15	8 (53.3)	1 (6.7)	6 (40.0)	1 (6.7)	—	2 (13.3)
化学的エネルギー	14	1 (7.1)	4 (28.6)	2 (14.3)	7 (50.0)	2 (14.3)	—
二次リンクのラベル別の延べ人数		21	18	29	41	40	26

[注] 表中の () 内の数値は一次リンクのラベルの人数に対する二次リンクの人数の%を示す。

リンクの各ラベルの人数に対するその割合（二次リンクの割合）を整理したのが、表3である。

表3からわかるように、「光合成」に対する一次リンクのラベルが「二酸化炭素」の場合には「分子」との二次リンクが最も多く、21人(60.0%)となっていた。同様に、「光」の場合には「エネルギー」との二次リンク、「糖」の場合にも「エネルギー」との二次リンク、「エネルギー」の場合には「糖」との二次リンク、「分子」の場合には「二酸化炭素」との二次リンク、「化学的エネルギー」の場合には「エネルギー」との二次リンクが、それぞれ最も多い割合を占めていた。また、二次リンクの割合が50%を上回っていたのは、5種類の二次リンクだけであった。

さらに、二次リンクの対象となったラベルの延べ人数では、「エネルギー」と「分子」がそれぞれ41人、40人とほぼ同数で最も多く、続いて「糖」、「化学的エネルギー」、「二酸化炭素」、「光」の順となっていた。

4. 「光合成」との一次リンクの意味内容

「光合成」を一次リンクの中心としてみた場合、「光合成」と他のラベルがどのような意味内容で関係づけられているのかを、リンクに添えられていた言葉や文をもとに分析した。

(1) 「光合成」と「二酸化炭素」

「光合成」と「二酸化炭素」の間に一次リンクを設定した35人のうち、「二酸化炭素は光合成に必要である(利用される)」、「二酸化炭素は光合成で吸収される」、「二酸化炭素は光合成の材料となる」といった説明が合計31人であった。これら

はいずれも「二酸化炭素」と「光合成」を関係づける説明としては適切なものであった。一方、「二酸化炭素が光合成によって発生する」や「二酸化炭素は光合成で酸素になる」といった不適切な説明もあり、その数は4人であった。

(2) 「光合成」と「光」

「光合成」と「光」の間に一次リンクを設定した30人のうち、「光は光合成に必要である(利用される)」や「光は光合成で吸収される」といった説明が合計で21人、「光は光合成の要素(材料)である」といった説明が2人、その他が5人であった。これら28人の説明には、説明の正確さが不足しているものがあるものの、「光合成」と「光」を関係づける説明としてはいずれもほぼ適切なものであった。一方、「光が化学的エネルギーとして光合成に関係」や「二酸化炭素を分解して酸素にする」といった不適切な説明が各1人ずつであった。

(3) 「光合成」と「糖」

「光合成」と「糖」の間に一次リンクを設定した28人のうち、「糖は光合成で作られる(合成される・生成される・得られる)」や「糖は光合成の産物(生成物)」といった説明が25人であった。これらはいずれも「光合成」と「糖」を関係づける説明としては適切なものであった。一方、「デンプンは糖に変換される」という不適切な説明が1人、さらに、リンクについての説明のない者が1人であった。

(4) 「光合成」と「エネルギー」

「光合成」と「エネルギー」の間に一次リンク

を設定した18人のうち、「エネルギーが発生する」・「エネルギーを作る」・「生成物」といった説明が9人、「エネルギーは光合成で必要である(使われる)」といった説明が5人、「光合成でできた糖がエネルギーとなる」と「光合成で生成されたものが私達のエネルギー源となる」といった説明が各1人、その他が1人であった。これら17人の説明の中には、日常知としてのエネルギーの説明であれば問題はないが、エネルギーの変換や転移についての科学的な理解を踏まえた説明としては不適切なものが多く認められた。また、リンクについての説明のない者が1人であった。

(5)「光合成」と「分子」

「光合成」と「分子」の間に一次リンクを設定した15人の説明は、「光合成に必要なもの」、「光合成で水分子が必要」、「光合成で酸素分子ができる」、「分子から分子を作り出す」、「分子単位で行われる」といったものなどであり、両者を関係づける説明としてはいずれもほぼ適切なものであった。

(6)「光合成」と「化学的エネルギー」

「光合成」と「化学的エネルギー」の間に一次リンクを設定した14人のうち、「光合成を行うときに使う」や「光合成に必要な」といった説明が5人、「光合成で化学的エネルギーが作り出される(発生する)」が6人、その他が1人であった。これらの説明の中には、「エネルギー」の場合と同様に、日常知としての説明であれば問題はないが、

科学的な理解を踏まえた説明としては不適切なものが幾つか認められた。また、光と化学的エネルギーを同じものとしている不適切な説明が1人、リンクについての説明のない者が1人であった。

IV. 考察

以上の結果を踏まえ、被験者の光合成に関する概念地図ではラベル間のリンクの関係がおよそどのようなになっているかを次のような基準でまとめ、図3に表した。図3では、まず、表2をもとに「光合成」に対する一次リンクの割合が50%以上のものを太い実線で示し、50%未満のものを細い実線で示した。また、表3をもとに「光合成」に対する二次リンクの割合が50%以上のものを、矢印線で示した。但し、図ではラベル間のリンクについての説明は書き添えてはいない。

実際には、個々の概念地図におけるリンクの関係は多様であり、図3とは大きく異なるものもある。しかし、図3は、被験者の概念地図の傾向を把握する上ではそれなりの意味をもつのではないと思われる。

次に、光合成概念の構造や特徴、及び光合成の学習に関する課題や問題点について考察してみたい。

まず、「光合成」と「二酸化炭素」、「糖」及び「光」との関係についてである。調査対象の教員志望学生は、いずれも旧学習指導要領に沿って小学校から高等学校まで学習してきたが、それ

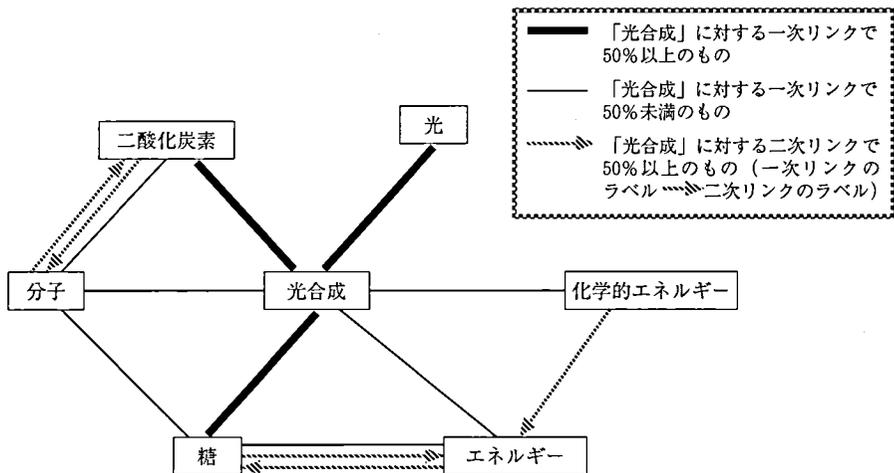


図3 光合成の概念地図におけるラベル間のリンクの関係

によれば光合成と二酸化炭素の関係は中学校以上で学習し、光合成と光の関係は小学校で既に学習している。また、光合成と糖の関係についてみると、小学校と中学校では光合成の産物は糖ではなくデンプンとして学習しており、糖（ブドウ糖）として学習するのは一般的には高等学校以上である（文部省1978a、1978b、1979）。

そこで、「光合成」を一次リンクの中心として見た場合、「光合成」と「二酸化炭素」、「糖」及び「光」とのリンクの割合はいずれも75%以上という比較的高いものであった。これら3つのラベルを同時に「光合成」とリンクさせている人数を別途カウントしたところ、23人（62.2%）であった。また、「二酸化炭素」、「糖」及び「光」の各ラベルを一次リンクの中心として見た場合、いずれも他のどのラベルとよりも「光合成」とのリンクの割合の方が多くなっていた。

「光合成」とこれら3つのラベルとの一次リンクの意味内容に関する分析結果も踏まえると、このような結果は、「光合成」とこれら3つのラベルとの関係の概念、すなわち、「光合成」は「光」によって「二酸化炭素」をもとに「糖」を合成するはたらきである、という概念がかなり定着していることを示していると考えられる。

次に、「光合成」と「分子」との関係についてみると、「分子」を一次リンクの中心とした場合、「分子」と「光合成」とのリンクの割合よりも、「分子」と「糖」のリンク、および「分子」と「二酸化炭素」のリンクの割合の方が多くなっていた。

その一因として、光合成の反応を化学的に分子レベルで学習するのは、旧学習指導要領では高等学校理科の選択科目の生物においてだけである一方で、化学変化や分子の基礎的な事柄については既に中学校理科で学習するようになってきていることが考えられる。表3の結果も踏まえれば、被験者の光合成の知識構造においては、「分子」は「光合成」と直接リンクしているよりも、むしろ「二酸化炭素」や「糖」を通じて間接的に「光合成」とリンクしていると考えられる。

最後に、「光合成」と「エネルギー」の関係について注目してみたい。

「光合成」と「エネルギー」のリンクについてみると、「光合成」に対する二次リンクのうち

「エネルギー」とのリンクの延べ人数は最多となっていた。しかし、これら2つのラベルの間に一次リンクを設定した者は18人（48.6%）にとどまっていた。先に述べた「分子」と同様に、被験者の光合成の知識構造においては、「エネルギー」は「光合成」と直接リンクしているよりも、むしろ「糖」などを通じて間接的に「光合成」とリンクしている傾向がうかがえる。

また、一次リンクの関係を記述した言葉や文の中には、エネルギーについての科学的な説明として不適切なものが多く認められたとともに、生態系におけるエネルギーの流れに関係するような記述はほとんどなかった。

さらに、一次リンク数についてみると、最多のリンク数においても1人当たりの平均リンク数においても、「エネルギー」は「二酸化炭素」、「分子」、「光」及び「化学的エネルギー」と同じか、またはこれらを上回っていた。しかし、少なくとも理科で学習する科学的概念としては「エネルギー」ほどには一般性や包括性が高くはない概念である「糖」を下回っていた。

これらのことを総合して考えると、光合成とエネルギーの関係の重要性にもかかわらず、被験者の光合成概念の中ではエネルギーについての科学的な知識は十分ではなく、エネルギー概念と他の概念との適切な関連づけも十分とはいえないと思われる。このことは、光合成におけるエネルギー概念の理解が不十分であるという、Stavy, R. 他（1987）やWaheed, T. and Lucas, A. M.（1992）の指摘と一致している。

ところで、旧学習指導要領では、中学校理科においても高等学校の必修科目である理科Iにおいても、光合成は生態系における物質循環とエネルギーの流れと関連させながら取り扱われていた。しかし、現行の中学校理科の学習指導要領では、物質循環は取り扱われているがエネルギーの流れは取り扱われておらず、また、高等学校では理科諸科目の履修は完全選択となっている。したがって、すべての生徒が光合成をエネルギーの視点から学習するような機会は、現行の理科カリキュラムの上ではないことになる。その一方で、近年では環境やエネルギーの問題についての教育がますます重視されてきている。

このように考えてみると、光合成概念における

エネルギーについての理解を充実させることは重要な課題であり、その課題に対応するためには学習指導上の工夫や改善とともに、カリキュラムの面での検討や改善も必要ではないかと思われる。

V. おわりに

本研究では、教員志望学生の光合成概念について、概念地図を作成させることにより調査し、その結果について分析し、考察した。そして、光合成概念におけるラベル間の関係や意味内容の実態及び学習上の課題や問題点などについて幾つかのことが明らかになった。

また、今回調査対象としたのは教員志望学生であるが、本研究では、彼らを一通りの学習を経てきた「学習者」として捉え、その光合成概念について分析し、考察した。しかしながら、教師の概念構造の豊かさが、子どもに固有の多様な発想や考えを生かす学習の可能性を保障する要素の一つであると考えられるならば、教員志望学生の概念構造について本研究で明らかにされたことは、教師あるいは教員志望学生にとって別の意味をもってくのではないだろうか。つまり、将来教師となる教員志望学生が、子どもの多様な発想や考え方に柔軟に対応できる授業を実践するために自らの概念構造を批判的に検討しようとするとき、これがその一つの視点となるのではないだろうか。

勿論、概念地図によって探ることができるのは概念の命題に関する部分だけであり、それは光合成概念の一部でしかない。また、本稿では、教員志望学生の概念地図を類型化するなど、個の概念構造に注目した考察はできていない。これらは今後の課題である。

引用・参考文献

Anderson, C.W., Sheldon, T.H. and Dubay, J. (1990) : The effects of instruction on college nonmajors conceptions of respiration and photosynthesis, *Journal of Research in Science Teaching*, Vol.27, No.8, pp.761-776.

Barker, M. and Carr, M. (1987a) : Teaching and learning about photosynthesis, Part 1: An assessment in terms of students' prior knowledge, *International Journal of Science Education*, Vol.11, No.1, pp.49-56.

Barker, M. and Carr, M. (1987b) : Teaching and learning about photosynthesis, Part 2: A generative learning strategy, *International Journal of Science Education*, Vol.11, No.2, pp.141-152.

Eisen, Y. and Stavy, R. (1988) : Students' Understanding of photosynthesis, *The American Biology Teacher*, Vol.50, No.4, pp.208-212.

福岡敏行・笠井恵 (1991) 「理科学習における概念地図作り (CONCEPT MAPPING) の有効性に関する一考察—6 学年児童の「水溶液の性質」概念の形成において—」、日本理科教育学会研究紀要、Vol.32, No.1, pp.67-75.

福岡敏行・植田千賀子 (1992) 「概念地図作り (CONCEPT MAPPING) の学習効果に関する一考察—ペーパーテスト法による有効性の確認—」、日本理科教育学会研究紀要、Vol.33, No.2, pp.1-8.

藤田剛志 (1986) 「光合成概念の認知構造の診断—単語連想法と概念関連記述法を併用して—」、日本理科教育学会研究紀要、Vol.27, No.2, pp.43-51.

Haslam, F. and Treagust, D.F. (1987) : Diagnosing secondary students' misconceptions of photosynthesis and respiration in plants using a two-tier multiple choice instrument, *Journal of Biological Education*, Vol.21, No.3, pp.203-211.

文部省 (1978a) 【小学校指導書理科編】、大日本図書。

文部省 (1978b) 【中学校指導書理科編】、大日本図書。

文部省 (1979) 【高等学校学習指導要領解説理科編・理数編】、実教出版。

文部省 (1989a) 【小学校指導書理科編】、教育出版。

文部省 (1989b) 【中学校指導書理科編】、学校図書。

文部省 (1989c) 【高等学校学習指導要領解説理科編・理数編】、実教出版。

中山迅 (1996a) 「理科教育における認知的研究の動向についての一考察」、科学教育研究、Vol.19, No.4, pp.202-211.

- 中山迅 (1996b) 「『科学教育研究』における認知的研究及び学習に着目した研究の概説」、日本科学教育学会編『日本科学教育学会20周年記念論文集』、pp.553-559.
- J.D.ノヴァック&D.B.ゴウウィン (1992) 『子どもが学ぶ新しい学習法－概念地図法によるメタ学習』、東洋館出版.
- 大辻永・赤堀侃司 (1994) 「リンクの意味分析による概念構造図の評価観点とその妥当性」、科学教育研究、Vol.18, No.4, pp.167-180.
- Stavy, R., Eissen, Y. and Yaakobu, D. (1987) : How students aged 13 - 15 understand photosynthesis, *International Journal of Science Education*, Vol.9, No.1, pp.105-115.
- 田中泰成・宮脇亮介 (1992) 「コンセプトマッピングによる中学生の地層概念に関する研究」、日本理科教育学会研究紀要、Vol.33, No.2, pp.69-76.
- Waheed, T. and Lucas, A.M. (1992) : Understanding interrelated topics : photosynthesis at age 14+, *Journal of Biological Education*, Vol. 26, No.4, pp.193-199.
- White, R. and Gustone, R. (1993) : Probing Understanding, The Falmer Press, 1993, pp.15-43. (中山迅・稲垣成哲監訳 (1995) 『子どもの学びを探る』、東洋館出版、pp.32-65.)