

コンセプトマップとその変遷を通じて 読み取る学生の化学概念

田中 元
鈴木 哲也
小手川久美子

1. 目的

筆者らは数回にわたり、秀明大学学校教師学部入学者（理科専修および初等理科）を対象としてコンセプトマップを描かせた。これは従来から取り組んでいる科学リテラシーを調べる研究¹⁻⁴⁾の一環であり、その端緒として田中が専門とする化学領域から研究を進めている。本報告で扱うコンセプトマップは「化学」をキーコンセプトに置いたものである。学生達が理科教員を目指す過程で、どのような変化が彼らの描くコンセプトマップに見られるのかを調べ、理科教員に求められる科学（化学）リテラシーを追究する手がかりとする。また同時に、理科教員の養成に資する講義をデザインするべくこの結果を還元するという目的をもつ。

当学部では前期に開講される「化学概説」が新入生にとって唯一の化学分野における講義である。この講義の初回が始まる時と15回の講義が終了した時点でそれぞれ学生達にコンセプトマップを描かせることにより、「1 今日中等教育が学生の大学入学時までどのような化学概念を形成したか」「2 高等教育（「化学概説」）に触れることにより学生の化学概念にどのような変化が生じたか」という2点を把握することができると期待される。

なお、コンセプトマップは1970年代にジョセフ・D・ノヴァクラが学生

の科学的知識を表現する手段として考案し⁵⁾、やがて教育ツールに限らず個人やチームの専門知識の表現方法として用いられるようになり現在に至る。教育ツールとして用いられる場合、コンセプト間を結ぶリンク（線）には主語・述語関係を示す矢印を用いたり、そのリンクが生じた意味や理由を書き加えることが多いが、利用目的によってコンセプトマップを作成する手続き、流儀も多様である^{6, 7)}。本研究においては、学生達にマップを描かせる上での簡便さとマップをネットワークデータ化するプロセスの簡略化を考え、コンセプト間を単純に線で結ぶ形式を採用した。これにより、コンセプトマップを多数集積し、定量的・統計的に扱うことが容易となり、さらには学生が作成したコンセプトマップと書物等のテキストデータから得られる共起ネットワーク⁸⁾とを同列に扱うことが可能となる。また、コンセプトマップを用いた従来の研究による定量的解析の試みは、学習者に対する評価を対象とするものが大部分であった。本研究の手法は今後多数のマップをネットワークデータとして扱い、科学（化学）リテラシーを追究する上でより普遍性のある知見を導く可能性がある。

2. 研究方法

(1) 調査対象

コンセプトマップを描かせた対象は、2014・2015年度入学の秀明大学学校教師学部理科専修コースおよび初等教育コース（理科）選択者計51名である（表1）。本学部の卒業条件として彼らには中学校・高等学校教諭一種免許状の取得が必須であり、すなわち理科教員としての資格を得なければならない立場にあるため、理科教員に求められる科学リテラシーを調べるために適した条件をもつと見なせる。

まず、本学部の講義「化学概説」初回の冒頭で「化学」をキーコンセプトとしてコンセプトマップを描かせた。この講義は対象となった学生達にとって必修科目であり、かつ、本講義以外に新入生が前期に履修する化学関連の講義は存在しない。すなわち、本学部に入學して将来理科の教員になること

を志望する学生全員に対し、大学における化学教育の影響を受ける直前の状態をリサーチすることができる。次に、「化学概説」の第15回目（最終回）が終了する時点で、同様の手順を踏んでコンセプトマップを描かせ、その変遷を見た。

表1 コンセプトマップを描いた学生の所属と人数

	「化学概説」講義初回	「化学概説」講義最終回
2014年度入学者	理科専修23名, 初等理科1名	理科専修23名, 初等理科1名
2015年度入学者	理科専修19名, 初等理科9名	理科専修19名, 初等理科6名(3名欠)

(2) コンセプトマップの作成と解析対象の用語のウエイト評価、選出

学生達にコンセプトマップを描かせた手順は次の通りである。

- 1 適当な言葉（例：スポーツ、アート）を指定し、イメージマップを描く練習を行う（図1）。コンセプトマップをいきなり描き始めることに躊躇を覚えるケースが多いため、後にコンセプトマップを描く際に学生達はここで作成したイメージマップに現れる用語（概念）を基として作業に着手する。この一連のステップを習得するために、「化学」以外のコンセプトを扱って予行演習を行うことは効果的である。
- 2 1で仕上がったイメージマップをいくつか点検し、イメージマップ作成上の注意が見受けられたらそれらを学生達に示す。その上で「化学」から始まるイメージマップを描かせる（3分間）。
- 3 2で作成したイメージマップに現れる用語をツリー状に配列して線で結び、コンセプトマップを作成する準備とする。学生達はここに連想するコンセプトを付け加え、コンセプトマップを描く練習を行う。
- 4 3で仕上がったコンセプトマップをいくつか点検し、コンセプトマップ作成上の注意が見受けられたらそれらを学生達に示す。その上で「化学」をキーコンセプトに据え、3と同様の手順で学生達にコンセプトマップを描かせる（10分間）（図2）。

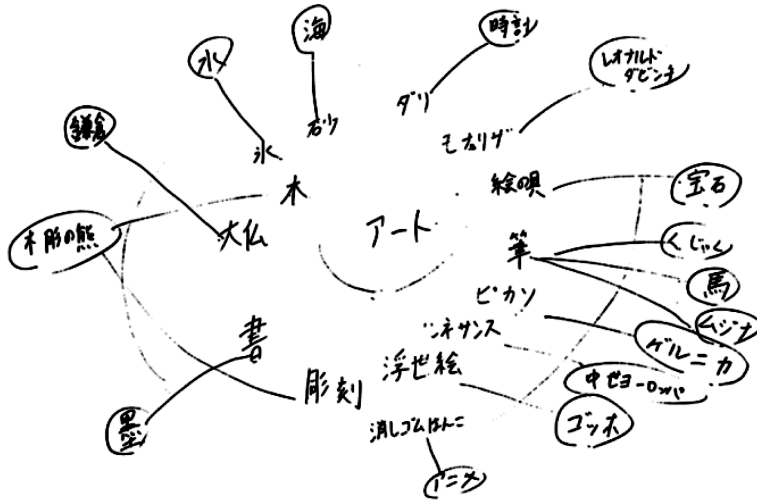


図1 イメージマップの例

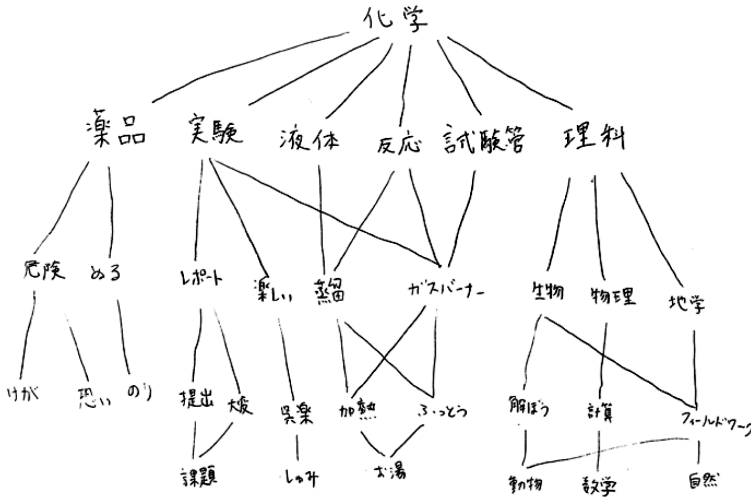


図2 「化学」をキーコンセプトに据えたコンセプトマップの例

得られたコンセプトマップは延べ101枚にのぼり、これらのコンセプトマップ一つ一つから対応するネットワークデータを得て（図3）、1284個の用

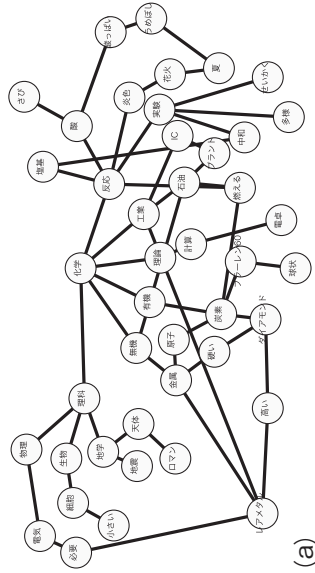
語（概念）を集めた。

なお、ここで言うネットワークデータとはグラフ理論で「隣接行列」(adjacency matrix)とも称される。たとえば図3(a)の中で「化学」と「理科」、「化学」と「反応」はエッジ（線）で結ばれており、このため図3(b)でこれらの対に対応する行列成分が1になっている。これに対し、「化学」と「天体」は結ばれておらず、対応する行列成分は0である。このようにイメージマップという視覚的なデータを等価な0と1からなる行列形式に置き換えることで、コンピュータを用いた統計的な処理を施すことができる。

さて、これら1284個の言葉の中には化学概念と直接結びつくとは言い難いものも多い（例：「奨学金」「刑務所」「弁護士」「天国」等）。そこで高校の化学教科書15冊（表1の学生が学んだ旧教育課程のもの）⁹⁻²³⁾ または大学の一般化学教科書32冊²⁴⁻⁵⁵⁾の中に登場するもので6000以上のウエイトを持つ用語を選んだ。その結果、解析の対象として挙げた用語はちょうど600個であった。

本報告において用語のウエイトとは、たとえばマップAとマップBの和としてマップCを得た際に、ある用語がマップAの上でもつ次元（その用語のノードから出るエッジ（辺）の数）とマップBの上でもつ次元を合計したものである（図4）。本研究では延べ101枚のコンセプトマップの和をもとめたが、この101枚のマップの一つ一つについて、ある用語から出る線の数をカウントし、これらを合計してその用語のウエイトとする。すなわち、ある用語の出現回数が多いほど、または他の用語との関連性が強いほど、その用語のウエイトは大きく評価される。また、先の教科書群をコーパス（集積・構造化されたテキストデータ）として用いるケースにおいては、その用語の他の用語との共起回数（2つの言葉が同一文中に出現する回数）（表2）の合計がその用語のウエイトに相当すると見なす。この仮定の下で、マップに示される学生達の化学上の概念間の関連を、教科書群に示される体系の中でそれらと比較して考察することができる。

科目	物理	化学	生物	地学	数学	英語	国語	倫理	保健体育	芸術	音楽	体育	家庭	職業	総合	その他	未定
物理学	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
化学	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
生物学	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
地学	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
数学	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
英語	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
国語	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
倫理	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
保健体育	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
芸術	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
音楽	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
体育	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
家庭	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
職業	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
総合	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
その他	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
未定	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1



(a)

図3 学生が描いたコンセプトマップからネットワークデータを得た例
 (a) 学生が描いたコンセプトマップをデータ化した一例
 (b) (a)から得られたネットワークグラフデータ

(b)

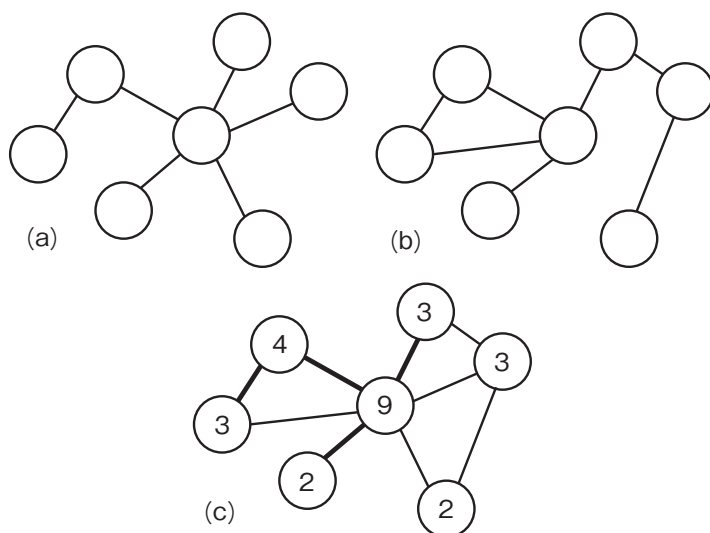


図4 用語（ノード）のウエイト評価の例
 (c)はマップ(a)(b)の和をとったものであり、ノード中に示す数値が各ノードのウエイトである。

表2 本報告において共起回数をカウントした例

	ファンデルワールスの状態方程式	ヘキサメチレンジアミン	ボイル・シャルルの法則
ファンデルワールスの状態方程式	0	1	2
ヘキサメチレンジアミン	1	0	2
ボイル・シャルルの法則	2	2	0
アルカリ土類金属元素	0	0	0
ファンデルワールスカ	0	0	0
フェノールフタレイン	2	2	0
ライナス・ポーリング	0	0	0
22.4L/mol	0	0	0
mol=22.4L	0	0	0
イオン化エネルギー	4	0	2
うまいかなかった	0	0	0
キャベンディッシュ	0	0	0
ジュラシックパーク	0	0	0
スーパーマーケット	0	0	0
バイオテクノロジー	0	0	0
ファンデルワールス	31	5	9
ワトソン・クリック	0	0	0
環境に影響を与える	0	0	0
酸性・中性・塩基性	0	0	0
質量パーセント濃度	1	0	0
身の回りにあるもの	0	0	0
アインシュタイン	1	0	0

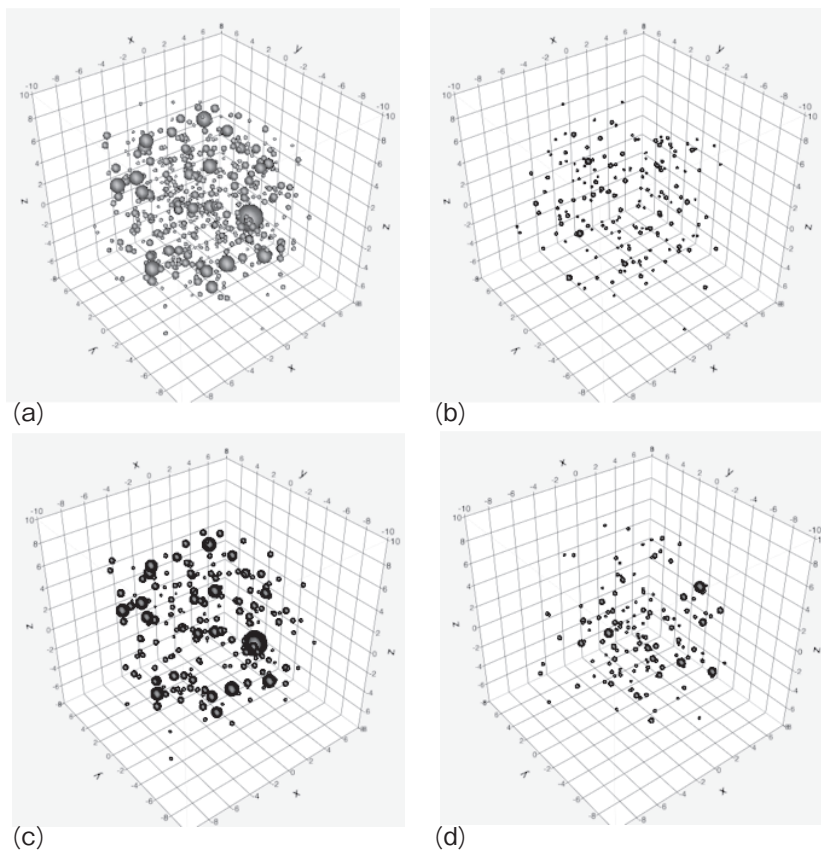


図5 化学関連用語 600 個のグループ分け

プロットの大きさは、ウエイトに比例している。

(a) 600 個のデータをプロットしたもの

(b) グループ I ; 「化学概説」履修前の概念マップに現れ、履修後の概念マップには現れなかった用語 (223 個、ウエイト 1 ~ 11)

(c) グループ II ; 「化学概説」履修前の概念マップ、履修後の概念マップの双方に現れた用語 (215 個、ウエイト 1 ~ 110) + 「化学」(ウエイト 713)

「化学」はキーコンセプトとして置かれたため、すべての概念マップに現れる。

(d) グループ III ; 「化学概説」履修前の概念マップに現れず、履修後の概念マップに現れた用語 (161 個、ウエイト 1 ~ 33)

(3) 化学関連用語 600 個の可視化マッピング

(2)で選出した 600 個の用語に対して、ある 2つの用語の関連が強い（コーパス上での共起回数が多い）ほどその 2つのノードが近接した位置に来るように座標を最適化すべく計算に取り組んでいるが、現在では試行の段階であり満足すべき結果には達していない（図 5）。しかし、図 5 は各用語のウエイトの大小関係を可視化し、「化学概説」履修前後のコンセプトマップの変遷を見せるという点で役立つものである。

座標の最適化計算には比較的単純な「Eades のばねモデル」⁵⁶⁾を採用し、滑降 Simplex 法⁵⁷⁾によるポテンシャルエネルギーの最小化を行っている。現時点ではこの最適化計算における複数の補助パラメータのスケージング等が不十分であること、コーパス構築の際に教科書群をテキスト化する OCR 作業の精度に難があることが問題である。

(4) 化学関連用語 154 個の抽出

600 個の用語を解析対象として選出した上で、学生達の描いた「(a)コンセプトマップにおけるウエイト」をもとめ、これが 5 以下のものはコンセプトマップの数 110 と比較しデータのノイズとして除いて 154 個の用語を抽出した（表 3）。この 154 個の用語は学生達の化学に関するイメージにおいて無視できないウエイトを有し、かつ化学関連教科書が採り上げるもの、すなわち化学教育上の意義も大きいと見なせることになる。これらの用語の「(b)高校の化学教科書 15 冊および大学の一般化学教科書 32 冊を合わせた中でのウエイト」も表 3(b)に記してある。

なお、表 3(c)ではそれぞれの用語に対し、(a)/(b)の比をとる際に「化学」という言葉で値が 1.0 になるよう規格化を施している。これは「化学」という語がコンセプトマップ上にキーコンセプトとして必ず登場するものであり、かつ、化学関連の教科書にも相当の頻度で登場することに注目しての措置であるが、あくまで用語間の比較を行う際の相対的な値として意味をもつものであり、絶対値にこだわる必要は無い。

表3 用語 154 個のグループ分け
 グループⅠ；「化学概説」履修前のコンセプトマップに現れ、履修後のコンセプトマップには現れなかった用語
 グループⅡ；「化学概説」履修前のコンセプトマップ、履修後のコンセプトマップの双方に現れた用語
 グループⅢ；「化学概説」履修前のコンセプトマップに現れず、履修後のコンセプトマップに現れた用語

(a)コンセプトマップにおけるウエイト

(b)高校の化学教科書 15 冊および大学の一般化学教科書 32 冊を合わせた中でのウエイト

(c)比 (a)/ (b) の相対値 (グループⅡ中の用語「化学」での値が 1.00 になるように規格化)

グループⅠ			
	(a)	(b)	(c)
燃える	11	11115	0.59
物質	10	163815	0.04
元素記号	9	38619	0.14
モル	8	264232	0.02
木	7	23504	0.18
物質の変化	6	16673	0.21
アルカン	6	22915	0.15
水溶液	6	231755	0.02
構造	6	378264	0.01
グループⅡ			
	(a)	(b)	(c)
化学	713	420664	1.00
実験	110	124692	0.52
原子	104	1312230	0.05
周期表	86	64181	0.79
元素	86	415274	0.12
気体	82	502237	0.10
分子	78	1017759	0.05
金属	74	310044	0.14
液体	66	262642	0.15
電子	66	886675	0.04
結合	64	625714	0.06
グループⅢ			
	(a)	(b)	(c)
分子間力	33	24602	0.79
化学結合	27	56994	0.27

グループⅠ			
	(a)	(b)	(c)
アルカリ金属	16	21912	0.43
自由電子	16	24120	0.39
無機物	16	19919	0.48
化合物	16	8269	1.14
ハロゲン	15	47075	0.19
発見	15	38782	0.23
火	15	26246	0.34
二酸化炭素	14	84074	0.10
ピーカー	14	11296	0.73
ポーア	14	32078	0.26
中和	14	61529	0.13
光	14	248266	0.03
酸化・還元	13	6213	1.24
有機化学	12	11362	0.62
器具	12	6871	1.03
記号	12	50933	0.14
生活	12	35782	0.20
生命	12	29427	0.24
電池	12	267942	0.03
爆発	12	21924	0.32
陽子	12	118476	0.06
CO2	11	133859	0.05
化学者	11	13862	0.47
研究	11	81644	0.08
植物	11	26108	0.25
薬品	7	14501	0.29
融点	7	85661	0.05
理論	7	65973	0.06
金	7	68488	0.06
銀	7	83943	0.05
式	7	730382	0.01
水蒸気	6	43540	0.08
中性子	6	103212	0.03
還元	6	157608	0.02
結果	6	88281	0.04
合金	6	24706	0.14
重力	6	13724	0.26
数学	6	9412	0.38
単位	6	264908	0.01
中性	6	48106	0.07
沸点	6	147679	0.02
勉強	6	10439	0.34
力	6	142938	0.02
	6	289742	0.01

反応	51	1485416	0.02	動物	11	15054	0.43	ドルトン	16	16676	0.57
水素	49	575669	0.05	物質	11	94309	0.07	非成軌道	15	33331	0.27
計算	46	235074	0.12	化学変化	10	35469	0.17	電子配置	13	93546	0.08
固体	44	212712	0.12	電気分解	10	38657	0.15	軌道	13	229206	0.03
酸素	41	254728	0.10	イオン	10	677768	0.01	単原子分子	9	7382	0.72
物理	38	75224	0.30	難しい	10	8006	0.74	原子モデル	8	7806	0.61
生物	36	48318	0.44	細胞	10	32349	0.18	分子軌道	8	107410	0.04
炭素	34	249275	0.08	人間	10	18921	0.31	理想気体	8	72633	0.07
状態変化	32	25917	0.73	数字	10	26925	0.22	メンデレーエフ	7	8603	0.48
炎色反応	28	7334	2.26	複雑	10	191484	0.03	スベクトル	7	57127	0.07
熱	27	683679	0.02	色	10	10842	0.49	原子軌道	6	61904	0.06
イオン結合	26	53159	0.29	試験管	9	10842	0.49	原子軌道	6	61904	0.06
希ガス	26	23922	0.64	さび	9	17904	0.30	原子軌道	6	61904	0.06
有機物	26	19047	0.81	塩酸	9	48336	0.11	原子軌道	6	61904	0.06
変化	25	521155	0.03	酸性	9	72988	0.07	原子軌道	6	61904	0.06
アボガドロ	24	5696	2.49	歴史	9	7233	0.74	原子軌道	6	61904	0.06
共有結合	24	152327	0.09	塩	9	271116	0.02	原子軌道	6	61904	0.06
化学式	24	57911	0.25	ドライアイス	8	12662	0.37	原子軌道	6	61904	0.06
非金属	24	38191	0.37	22.4L	8	17571	0.27	原子軌道	6	61904	0.06
計算	24	30667	0.46	アルコール	8	64218	0.07	原子軌道	6	61904	0.06
化学反応	22	137191	0.09	エテルギー	8	806990	0.01	原子軌道	6	61904	0.06
金属結合	22	32803	0.40	有効数字	8	23884	0.20	原子軌道	6	61904	0.06
水素結合	22	63771	0.20	ポイル	8	6729	0.70	原子軌道	6	61904	0.06
電気	21	165720	0.07	ヨウ素	8	35918	0.13	原子軌道	6	61904	0.06
無機	21	22970	0.54	環状	8	48263	0.10	原子軌道	6	61904	0.06
地球	20	46907	0.25	公式	8	12376	0.38	原子軌道	6	61904	0.06
mol	19	55794	0.20	燃焼	8	80647	0.06	原子軌道	6	61904	0.06
湿度	18	614449	0.02	法則	8	219831	0.02	原子軌道	6	61904	0.06
状態	18	456120	0.02	米	8	71260	0.07	原子軌道	6	61904	0.06
物質	18	636100	0.02	イオン化エネルギー	7	45701	0.09	原子軌道	6	61904	0.06
フラスコ	17	9308	1.08	アルカリ土類金属	7	11590	0.36	原子軌道	6	61904	0.06
圧力	17	253766	0.04	アボガドロ定数	7	29137	0.14	原子軌道	6	61904	0.06
空気	17	99029	0.10	リチウム	7	40324	0.10	原子軌道	6	61904	0.06
酸化	17	514414	0.02	小さい	7	92242	0.04	原子軌道	6	61904	0.06
体積	17	298357	0.03	方程式	7	45356	0.09	原子軌道	6	61904	0.06
				呼吸	7	10783	0.38	原子軌道	6	61904	0.06
				分解	7	124743	0.03	原子軌道	6	61904	0.06

3. 結果

(1) 化学関連用語 600 個のグループ分け

選出した 600 個の用語を図 5 で

グループ I : 「化学概説」履修前のコンセプトマップに現れ、履修後のコンセプトマップには現れなかった用語

グループ II : 「化学概説」履修前のコンセプトマップ、履修後のコンセプトマップの双方に現れた用語

グループ III : 「化学概説」履修前のコンセプトマップに現れず、履修後のコンセプトマップに現れた用語

という 3 つのグループに分けてみると、ウエイトの大きい用語が数多くグループ II に集中しており、このグループが全体の中核をなすことが分かる。グループ I に目立ったウエイトをもつ用語は無いが、グループ III には比較的ウエイトの大きい用語として「分子間力(33)」「化学結合(27)」「ドルトン(16)」「混成軌道 (15)」「電子配置 (13)」「軌道 (13)」等が属す。

(2) 中等教育から受け継がれた化学概念の種類—「実験」に関わるイメージ

2.(3)における図 5 に関する言及および表 3 より、3 つのグループの中でグループ II が最大であることが明らかである。表 3 では 154 個の用語のうち 129 がこのグループに属し、ウエイト順の上位 20 をこのグループにある用語が占める (「化学 (713)」「実験 (110)」「原子 (104)」「周期表 (86)」「元素 (86)」「気体 (82)」「分子 (78)」「金属 (74)」「液体 (66)」「電子 (66)」「結合 (64)」「反応 (51)」「水素 (49)」「計算 (46)」「固体 (44)」「酸素 (41)」「物理 (38)」「生物 (36)」「炭素 (34)」「水 (34)」)。

ここに挙げた 20 個の用語のうち、特に注目されるのは「実験(110)」である。この用語は中等教育の化学の根幹をなす粒子概念、ミクロ的存在に直接結びつくものではない。また、化学は物質を扱う学問であるが、「実験」は「炭素」「水」のように物質をイメージするものでもない。上に挙げた「物理」「生物」のように、化学と並ぶ学問領域を指す言葉でもない。一つだけ特異なこの用

語が、グループⅠ、Ⅱ、Ⅲ全体の中で「化学」に次ぐ二番目のウエイトを有するのである。この言葉に注目してグループⅡを眺めると、「フラスコ (17)」「ビーカー (14)」「器具 (12)」「試験管 (9)」という実験器具に関わるものが比較的大きなウエイトを持ってグループⅡに属することが見て取れる。

また、表3で(c)の値に注目すると、大きい順に「アボガドロ (2.49)」「炎色反応 (2.26)」「酸化・還元 (1.24)」「危険 (1.14)」「フラスコ (1.08)」「器具 (1.03)」「化学 (1.00)」「有機物 (0.81)」「周期表 (0.79)」「分子間力 (0.79)」「ビーカー (0.73)」「状態変化 (0.73)」「単原子分子 (0.72)」「ボイル (0.70)」「希ガス (0.64)」「有機化学 (0.62)」「燃える (0.59)」「ドルトン (0.57)」「無機 (0.54)」「実験 (0.52)」「原子説 (0.50)」が挙げられる。これら(c)の値の上位を占める語の中で、先に挙げた「実験」に対するイメージと直接関わるもの(「フラスコ (1.08)」「器具 (1.03)」「ビーカー (0.73)」「実験 (0.52)」)はすべてグループⅡに属している。調査対象となった学生達にとり、大学での化学教育を受ける前後にわたって、「実験」に対するイメージが明らかに一定の重みを持っていると言えるだろう。

(3) 高等教育として伝えられた／伝えられなかった概念

—ミクロ的な視野／マクロ的な視野

表3のグループⅢには、高等教育(講義「化学概説」)が学生達に及ぼす内容が反映されるはずである。参考として2015年度前期の化学概説シラバスを載せる(資料1)。

このグループにはウエイトの大きい順に「分子間力 (33)」「化学結合 (27)」「混成軌道 (16)」「分子軌道 (15)」「原子軌道 (13)」「軌道 (13)」がこのグループに現れるが、これらは今日の中等教育に登場しない用語であり、「化学概説」で初めて取り扱った学生が大部分であろうと察せられる。そしてこれらはすべてミクロ的な領域に入るものである。

グループⅡおよび全体において「化学」「実験」に続き、「原子 (104)」「周期表 (86)」が大きなウエイトを有する。中等教育より引き継がれる「粒子概念」

(ミクロ的なイメージ)が、高等教育「化学概説」の履修を経てクローズアップされた可能性が大きいと思われる。

一方で、マクロ的な用語として表3のグループⅢに現れるのは、辛うじて「理想気体(8)」のみであり、これは学生によっては高等教育以前に、高校の化学Ⅱ(旧課程)で既に扱った概念である可能性が大きい。すなわち、2014・2015年度の化学概説では、高等教育としてマクロ的な範囲を学生達に示すことに成功したとは言い難い。一つには、スケジュールのずれにより講義の終盤で予定のトピックスに触れることができなかったという問題がある。しかし、「実在気体」「ファンデルワールス状態方程式」等、時間を費やして扱ったマクロ的なトピックスがあるにも関わらず、これらのウエイトは非常に小さく、明らかに化学関連の用語とは見なされない言葉と同程度であった。このため、154個の解析対象の用語の中に抽出されなかったのである。

中等教育がミクロ的な視点からスタートすることを考えると、高等教育ではマクロ的な領域に比重を置くのが適切であるとも思われ、この領域で講義の教育成果を確認できなかったことは遺憾である。

4. 考察

(1) 科目間の連携による有機的なカリキュラム作り

3.(1)にて記したように、学生達にとって「実験」がもつイメージは大きい。理科離れが問題とされる時代に中等教育を経てきた彼らの大半は、おそらく教育の場で実験の授業を受けたことが多くないと思われる。それにも関わらず、「実験」がもつイメージの大きさは事実である。すなわち、化学に関する経験が少ない人間にとっても「実験」は大きな関心の対象であることが推察される。

中等教育あるいは高等教育において、今後はミクロ／マクロを問わず抽象的な概念をより巧みに、効果的に伝えるための「実験」テーマの採択や開発が望まれるのでないか。これは「化学概説」「化学実験」等、本学部の化学関連講義を含めたカリキュラムにも適用すべき発想であり、より強く有機的

資料1 化学概説シラバス (2015年度) 2014年度のシラバスから大きな改変は無い。

科目名		化学概説															
科目名(英語)		Chemistry: An Overview															
担当教員		田中元															
学期		前期															
学部	学科	大科目群	科目群	1	2	3	4	単位	学部	学科	大科目群	科目群	1	2	3	4	単位
学教	中等	専修教科	理科専修	○				2									
必修前提科目 科目関連性		なし															
資格との 関連性		中高教諭1種免許(理科)															
講義内容		原子の構造、元素の周期性、化学結合、化学反応、熱化学に関する知識・法則を順次とりあげ、ミクロ的な視点からマクロへとおよぶ一連の流れの中で化学の理論的(物理化学的)な側面を系統的に学習する。大学以前の課程における化学から、大学での化学へと思考を発展・転換し、さらにはその成果を大学以前の理科教育へと還元することを視野に入れる。化学は大別して、理論化学(物理化学)、無機化学、有機化学に分けられるが、とくに理論、無機化学の順に焦点を当てる。															
各 講 義 テ ー マ		第1回	物質量の取り扱い(計量における単位、有効数字の意義、測定、実験の精度、誤差)														
		第2回	原子の構造1(Rutherford散乱、Balmer系列、Bohrの原子モデル、電子、原子核)														
		第3回	原子の構造2(電子殻、電子軌道、電子配置、価電子、原子量、同位体、放射線崩壊)														
		第4回	原子量、物質量(moleの定義、Avogadro則、標準状態、Boyle-Charle則、状態方程式と理想気体)														
		第5回	元素の周期性(周期表、周期律の例、族、元素ブロック)														
		第6回	化学結合1(イオン結合、共有結合、金属結合、混成軌道、分子軌道、分子の形、自由電子、金属のバンド構造、金属の結晶構造)														
		第7回	化学結合2(単体と化合物、同素体、代表的な化合物、分子間力、沸点、融点、理想気体、水和)														
		第8回	酸塩基中和反応(酸塩基の定義・性質、代表的な酸塩基、中和の反応式)														
		第9回	酸化還元反応(酸化数、代表的な酸化剤、還元剤、イオン化傾向、半反応式、Faraday定数、電池、電気分解)														
		第10回	熱化学方程式(各種の反応熱、Hessの法則、触媒作用、代表的な触媒、酵素)														
		第11回	熱現象(自発的な過程、エンタルピー、エントロピー、自由エネルギー)														
		第12回	反応速度と化学平衡(濃度、分圧、素反応、律速段階、反応速度係数、可逆反応、不可逆反応)														
		第13回	溶液の化学1(水のイオン積、電離平衡とpH、pH滴定曲線、緩衝溶液、沈殿、溶解度積)														
		第14回	溶液の化学2(濃度、沸点上昇、凝固点降下、浸透圧、コロイド)														
		第15回	溶液の化学3(第14回の続き)														
使用教科書 (参考書・参考サイト)		「理科教育力を高める基礎化学」長谷川正、吉永裕介、國仙久雄(裳華房)および配布プリント															
成 績 評 価 方 法		原則的に毎回、演習として提出物を課し理解度をチェックする。提出物ごとに評価の重みが異なる場合はその都度告知する。講義の進行状況により、テストに相当する演習が数回設けられる。提出物と学校教師学部棟4階642研究室															
連 絡 方 法		学校教師学部棟4階642研究室															

な科目間の連携がこれから随所で必要になると思われる。

たとえば多くの大学、高校で行われるステアリン酸を用いた実験はアボガドロ数をもとめることを目的にしている。しかし、この実験では水面上でステアリン酸膜が有限の面積までしか広がらず、その面積はステアリン酸の量に比例することに注目させるべきであろう。膜は無限に薄くなるわけではなく、その有限の厚さが原子の大きさに相当することを教えることができ、原子の存在を意識することができる実験である。同じ実験をアボガドロ数に結びつけるのか原子説に結びつけるのかで、似ているようでも教育効果が異なることがあり得る。この実験の後に講義で原子説を扱うことは化学教育の上で効果的であると予想される。

あるいは、熱化学や環境化学、実験を統一的な流れで扱う講義、またはオムニバス形式で紹介する講義を用意し、これらの講義では毎回マクロ的なトピックスを扱うこととすれば、粒子概念から始まる中等教育に高等教育を効果的に組み合わせることができるとと思われる。

マイクロ／マクロの両面にまたがるよう複数の講義の内容を互いに関連づけることは、教育の効率を上げることに直結することが期待される。理科教員の養成に当たっては、学習の対象に向けてミクロ的な視点とマクロ的な視点の両方を常に保つことが重要であろうと考えるものである。

(2) 講義の内容構築・進展調整に向けたリサーチの必要性

—マクロ的視野の養成を目指して

中等教育がミクロ的な視点からスタートすることを考えると、高等教育ではマクロ的な領域に比重を置くのが適切であるとも思われる。3.(2)に記した通り、2014・2015年度の「化学概説」では高等教育の範囲でミクロ的な内容を扱うことにはある程度の成果があったと思われる一方、マクロ的な内容を扱い切れていないおそれが強い。この原因として、たとえば以下を推測して挙げる。

- 1 講義スケジュールの後半にマクロ的な領域を扱うため、講義進度の遅延

等の影響を大きく受ける。

- 2 ミクロ的な領域と比較してマクロ的な領域の扱いは、学習側／教授側のいずれかまたは双方にとって難易度が高い。
- 3 学生達は中等教育を受ける過程でマクロ的なトピックスに触れずに来たため、理科教員を目指すに当たりマクロ的な視点を養うことを重視していない。

これらはいずれも相応の説得力を持ち、互いに関わり合う問題でもあると思われる。また、他の原因も挙げられるかもしれない。筆者らは次の2点に着手しながらこの問題を考えていくつもりである。

- A マクロ的な視野を効果的に養うために、講義に先立って学生の知識理解をあらかじめ把握する仕組みを設けること
- B 教員養成系の学部における化学リテラシーとして、マクロ的領域に属する概念がどこまで要求されるのか／すべきなのかを明らかにすること

A に関しては本研究報告に新しく採り上げたように、コンセプトマッピングが有効であろうと考える。表3のグループⅡには「化学概説」の前後で現れる用語をまとめたが、このグループ内の用語に対しても一連の講義の前後でウエイトの比較を行うことで、より正確な分析が可能になると思われる。また、これからは本報告の成果を活用して、一連の講義の前に学生にコンセプトマップを描かせ、それらを講義スケジュールの調整のための資料として役立てることができる。これは(1)にも適用できる作業である。

B に関して筆者らは科学（化学）リテラシーを追究する従来の取り組みを続けるが、マクロ的な視野とはその性質上、化学分野のみに限られるものではないであろう。高等教育に対してだけでなく義務教育も含めた中等教育に対しても研究の対象を広げ、(1)で述べた科目間連携のモデルを提唱することを目指す予定である。

(3) より定量的・統計的な分析に向けて

用語のウエイトの定量法は実用的なレベルに達していると思われるが、こ

れをデータとして十分に活用するためには、用語間の関連を定量・可視化する工夫が欠かせない。本報告においてそれには図5が相当するが、現時点でこれはまだ実用的なものではない。

その一つの大きな原因は、我々が信頼に足るコーパスをまだ作成しきっていないことにある。現在、高等学校の理科で使用されているすべての検定済教科書をテキストデータ化し、コーパスとして採用する企画が進行中であり、さらにはこれに引き続いて大学教養レベルの化学教科書、小学校／中学校理科の検定済教科書をデータ化することで、高等教育や一般社会における科学リテラシーを調査するためのコーパスが構築されると期待できる。

筆者らは本報告に紹介した試みを、教育現場から発し着実に教育に還元される研究として意義をもつと自負するが、その理由は、この研究手法が学生集団の知識理解／概念間の関連をコーパスの上で定量化し、さらにその様子を可視化する可能性を見せることにある。この結果、学生の教育に資するためのアプローチを統計的に導くことが可能になると思われるのである。

5. 謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 (一般 C; 課題番号 15K00987) の助成を受けて行われた。

6. 参考文献

- 1) 田中元、鈴木哲也「中高理科教員に求められる科学リテラシー - 教育系学部における化学シラバスに焦点を当てて -」『秀明大学紀要』(2012)、9,181-199.
- 2) 田中元、鈴木哲也「大学シラバス調査から読み取る教育系学部の化学リテラシー」『秀明大学紀要』(2013)、10,81-95.
- 3) 田中元、鈴木哲也「シラバス調査から得られるマップと教育系学部における化学教育の傾向 — 中高理科教員に求められる科学リテラシーを追究する過程で —」『東京未来大学紀要』(2014)、7,209-218.
- 4) 田中元・鈴木哲也「大学向け一般化学教科書を基にした教育系学部化学教育

の調査 - 中高理科教員に求められる科学リテラシーを追究する過程で -』『東京未来大学研究紀要』(2015)、Vol.8 159-168.

- 5) ノバック & ゴーウィン著、福岡敏行、弓野憲一監訳『子どもが学ぶ新しい学習法 概念地図法によるメタ認知』(1992)、東洋館出版社
- 6) リチャード・ホワイト、リチャード・ガンストン著、中山迅、稲垣成哲監訳『子どもの学びを探る 知の多様な表現を基底にした教室をめざして』、東洋館出版社、「第2章 概念地図法」(1995)、33-63.
- 7) 中山迅、稲垣成哲編著『理科授業で使う思考と表現の道具 - 概念地図法と描画法入門 -』、東洋館出版社、「第2章 道具により広がる学びの世界：実践」(1998)、25-32.
- 8) 樋口耕一著『社会調査のための計量的テキスト分析 内容分析の継承と発展を目指して』(2014)、ナカニシヤ出版、155-158.
- 9) 長倉三郎 (著)、竹内敬人 (著) 他 22 名、『化学Ⅱ』(2009)、東京書籍株式会社
- 10) 竹内敬人 (著)、長倉三郎 (著)、他 20 名、『化学Ⅱ』(2009)、東京書籍株式会社
- 11) 松井孝典 (著)、佐藤勝彦 (著)、黒田玲子 (著)、他 23 名、『理科総合 A システムとしてみる自然』(2011)、東京書籍株式会社
- 12) 渡辺正 (著)、今井泉 (著)、他 9 名『新版 化学Ⅰ』(2011)、大日本図書株式会社
- 13) 井口洋夫 (著)、木下貴 (著)、他 12 名、『化学Ⅰ 新訂版』(2012)、実教出版株式会社
- 14) 井口洋夫 (著)、木下貴 (著)、他 11 名、『化学Ⅱ』(2005)、実教出版株式会社
- 15) 佐藤文隆 (著)、務台潔、他 7 名、『理科総合 A 新訂版』(2010)、実教出版株式会社
- 16) 細矢治夫 (著)、大橋ゆか子 (著)、他 12 名、『高校化学 化学Ⅱ』(2012)、株式会社三省堂

- 17) 太田次郎 (著), 山崎和夫 (著), 他 23 名, 『高等学校 理科総合 A 改正版』 (2005), 株式会社 新興出版社啓林館
- 18) 太田次郎 (著), 山崎和夫 (著), 他 23 名, 『高等学校 新編理科総合 A 改正版』 (2005), 株式会社 新興出版社啓林館
- 19) 野村裕次郎 (著), 辰巳敬 (著), 他 6 名, 『改訂版 高等学校 化学 I』 (2006), 数研出版株式会社
- 20) 梅澤善夫 (著), 新名主照男 (著), 他 5 名, 『精解 化学 I』 (2006), 数研出版株式会社
- 21) 野村裕次郎 (著), 辰巳敬 (著), 他 8 名, 『改訂版 高等学校 化学 II』 (2007), 数研出版株式会社
- 22) 佐野博敏 (著), 花房昭静 (著), 他 20 名, 『高等学校 改訂 化学 I』 (2007), 株式会社第一学習社
- 23) 佐野博敏 (著), 佐藤公行 (著), 他 26 名, 『高等学校 改訂 理科総合 A』 (2011), 株式会社第一学習社
- 24) Karen Timberlake (著), William Timberlake (著), 渡辺正 (翻訳), 尾中篤 (翻訳), 『ティンバーレイク 教養の化学原書』 第 3 版 (2013), 東京化学同人
- 25) 野島高彦 (著), 『はじめて学ぶ化学 野島高彦著』 第 1 版 (2014), 化学同人
- 26) John McMurry (編) Robert C. Fay (編), 荻野 博 (翻訳), 山本学 (翻訳), 大野公一 (翻訳), 『マクマリー 一般化学 (上)・(下)』 第 1 版第 2 刷 (2011), 東京化学同人
- 27) 長島弘蔵三, 富田功 (共著), 『一般化学』 三訂版第 42 刷 (2007), 裳華房
- 28) 村田滋 (編) 『化学 基本の考え方を学ぶ (上)・(下)』 第 1 版第 1 刷 (2011), 東京化学同人
- 29) 岩本悦郎 (著), 柿並孝明 (編), 三苦好治 (編), 江頭直義 (著), 日色和夫 (著), 『化学が見えてくる』 初版第 1 刷 (2005), 三共出版
- 30) 宮田光男 (編), 『化学が好きになる本』 第 11 版 (1999), 裳華房
- 31) 湘南工科大学 「物質科学」 テキスト, 『化学ノート』 詳細不明
- 32) 舟橋弥益男, 小林憲司, 秀島武敏 (共著), 『化学のコンセプト』 第 1 版第 4

- 刷 (2007), 化学同人
- 33) 中川徹夫 (著), 『化学の基礎 (元素記号からおさらいする化学の基本)』 第1版第1刷 (2016), 化学同人
- 34) 東京大学教養学部化学部会 (編), 『化学の基礎 77 講』 初版第2刷 (1997), 東京大学出版会
- 35) 北條博彦 (著), 渡辺正 (著), 『化学基礎 (化学はじめの一步シリーズ)』 第1版第1刷 (2013), 東京化学同人
- 36) 日本化学会 化学教育協議会 (編), 『化学入門編 身近な現象・物質から学ぶ化学のしくみ』 第1版第2刷 (2008), 日本化学会
- 37) 浅野努 (著), 荒川剛 (著), 菊川清 (著), 榊原邁 (著), 『改訂 化学 物質・エネルギー・環境』 第1版第2刷 (2003), 学術図書出版会
- 38) 化学教科書研究会 (編), 『基礎化学』 第1版第13刷 (2010), 化学同人
- 39) 梶原篤, 金折賢二 (共著), 『基礎化学』 初版 (2011), サイエンス社
- 40) 左巻健男 (編著), 露本伊佐男 (著), 藤村陽 (著), 山田陽一 (著), 『基礎化学 12 講 - 左巻健男 編著 露本伊佐男・藤村陽・山田陽一 著』 第1版第2刷 (2009), 化学同人
- 41) 馬場正昭 (著), 『教養としての化学 馬場正昭著』 第1版第2刷 (2011), 化学同人
- 42) 渡辺正, 北條博彦 (著), 『高校で教わりたかった化学』 第1版第7刷 (2011), 日本評論社
- 43) 吉岡甲子郎 (著), 『新化学概論「増訂版」』 増訂第4刷 (2014), サイエンス社
- 44) 大場好弘 (著), 『身のまわりの化学 - 物質・環境・生命』 第1版第2刷 (2009), 共立出版
- 45) 宮澤三雄 (編著), 『身近に学ぶ化学の世界』 初版第2刷 (2012), 共立出版
- 46) 川瀬雅也 (著), 山川純次 (著), 『大学で学ぶ化学 川瀬雅也・山川純次著』 第1版第2刷 (2012), 化学同人
- 47) 杉森彰, 富田功 (共著), 『Catch Up! 大学の化学講義・高校化学とのかけはし』

- 第4版(2012), 裳華房
- 48) 齋藤勝裕(著), 『大学の総合化学』第1版第4刷(2012), 裳華房
- 49) 芝原寛泰, 斉藤正治(共著), 『大学への橋渡し 一般化学』第1版第1刷(2006),
化学同人
- 50) 下井守(著), 村田滋(著), 『大学生のための基礎シリーズ3 化学入門第2版』
第2版第1刷(2013), 東京化学同人
- 51) 大野公一(著), 村田滋(著), 錦織伸一(著), 『大学生の為の例題で学ぶ
化学入門』初版第13刷(2011), 共立出版
- 52) 大野惇吉(著), 『大学生の化学 第2版』第2版第1刷(2006), 三共出版
- 53) 渡辺啓(著), 『日常の化学 地球環境と生活様式の変革のために』初版第2
刷(2001), 三共出版
- 54) 長谷川正(著), 吉永裕介(著), 國仙久雄(著), 『理科教師力を高める基礎化学』
第1版第1刷(2011), 裳華房
- 55) 増田芳男(編著), 澤田清(編著), 『理系のための基礎化学 増田芳男・澤田
清編著』第1版第5刷(2010), 化学同人
- 56) 三木和男(2009)「ネットワークの可視化技術 - 大規模ネットワークと動的ネ
ットワークへの挑戦 -」, 『電子情報通信学会誌』, Vol.92 No.2 112-117.
- 57) William H. Press, Saul A. Teukolsky, William T. Vetterling, Brian P. Flannery
(1992)「10.4 Downhill Simplex Method in Multidimensions」, 『Numerical
Recipes in C The Art of Scientific Computing Second Edition』, Vol.92 No.2
112-117.

たなか はじめ・秀明大学教授

すずき てつや・東京未来大学准教授

こてがわ くみこ・秀明大学IT教育センター職員