

モンゴル国の初等・中等教育における化学分野の

カリキュラムの分析

ー日本のカリキュラムとの比較を通じてー

高原 周一¹・ミヤグマル エンフバト²・ガントルガ ビレグサイハン²

(¹岡山理科大学教育推進機構・²新モンゴル小中高一貫学校)

モンゴル国の初等・中等教育における化学分野のカリキュラムを日本のカリキュラムとの比較を通じて分析した。その結果、モンゴル国では理科に関する科目が日本より遅い第4学年から始まっているにも関わらず、日本より学習内容が多いことがわかった。また、モンゴル国のカリキュラムは、粒子モデルを第4学年から導入するなど、粒子概念の獲得を重視していることが明らかになった。一方、日本のカリキュラムは、粒子の保存性を意識させるために質量保存則を重視していること、児童生徒のもつ誤概念（素朴概念）を意識した内容が取り入れられていることがわかった。カリキュラムの大きく異なる両国がより詳細な教育内容等を共有することは、今後の両国の理科教育の改善に役立つと考えられる。

キーワード：モンゴル国、初等・中等教育、化学、カリキュラム分析、日本との比較

1. はじめに

筆頭著者である高原は、科研費基盤研究 C「モンゴル国における日本語による CLIL（内容言語統合型学習）の有効性の検証」の研究の一環として、モンゴル国で中学生もしくは高校生を対象に理科（主に化学分野）の授業を行ってきた（高原・坂本, 2024）。その中で、よりモンゴル国に適した授業実践を行うために、モンゴル国の理科カリキュラムの内容を把握する必要性を感じた。これまでに、音楽科（井本, 2023）、美術科（妻藤, 2023）、家庭科（原田, 2023）について、モンゴル国と日本のカリキュラムの比較研究が行われている。一方、理科のカリキュラムについては問題解決過程に焦点をあてた研究（日上, 2020; 2022）はあるが、カリキュラムの内容に焦点をあてた研究はこれまで行われていない。そこで、授業実施先のひとつであった新モンゴル小中高一貫学校の教職員であるエンフバトおよびビレグサイハンと共同で両国の初等・中等教育の理科カリキュラムについて、著者らの専門である化学分野の内容に限定して比較・分析を行った。高原は大学生および小中学生のもつ誤概念（素朴概念）に着目し、日本の化学分野のカリキュラム内容について研究してきた（高原, 2024; 田中・高原, 2024）。エンフバトは同校の化学の教員で、日本の大学に留学した経験をもつ。ビレグサイハンはキャリアセンターの職員で日本の高専（物質工学を専攻）に留学した経験をもつ。両者ともモンゴル国の理科カリキュラムはもちろん、日本の理科（特に化学分野）の教育内容等についても一定の知識をもっている。この比較研究により、両国のカリキュラムの特徴を明らかにすることで、両国の理科教育を改善することに繋がっていくことができると考えた。本報告では、はじめにモンゴル国の教育制度の基本情報について触れた後、化学分野のカリキュラム内容について具体的に報告する。

2. モンゴル国の初等・中等教育の基本情報

2.1. 理科教育以外も含めた概要

モンゴル国の教育制度および内容は、日本の学習指導要領にあたるコアカリキュラム、すなわち『初等教育カリキュラム』（モンゴル国教育科学省, 2019a）、『前期中等教育カリキュラム』（モンゴル国教育科学省, 2019b）、『後期中等教育カリキュラム』（モンゴル国教育科学省, 2019c）によって規定されている。これらの資料をもと

に作成したモンゴル国の理科に関する科目および教科全体の時間数を表 1 に示す。比較のために、現行の日本の小中高の学習指導要領（文部科学省, 2017a; 2017b; 2018）をもとに作成した同様のデータを表 2 に示す。モンゴル国の初等・中等教育は 5・4・3 の 12 年制である。すなわち、小学校は第 1 学年～第 5 学年、中学校は第 6 学年～第 9 学年であり、日本とは異なる。モンゴル国の義務教育は日本と同じく中学校までである。モンゴル国の現行カリキュラムは 2019 年に作成された。モンゴル国の授業 1 回あたりの時間（一単位時間）は、第 1 学年～第 2 学年で 35 分、第 3 学年以降は 40 分である。一方、日本は第 1 学年～第 6 学年で 45 分、第 7 学年以降は 50 分である。両国で一単位時間が異なるので、（授業時間数）×（一単位時間）で実時間を求めて比較した。表 1 および表 2 の一番右側の「全授業実時間計」欄を見ると、小中学校の理科以外も含めた全授業実時間はモンゴル国では 5608 時間、日本では 6771 時間で、モンゴル国の方が短いことがわかる。一方で、高校についての全授業実時間は、モンゴル国では 2450 時間、日本では 2158 時間で、モンゴル国の方が長い。ただし、日本の時間数は卒業のための下限の 75 単位で計算しており、実際には追加で履修させている高校が多いため、概ねモンゴル国の高校と同程度以上の実時間が確保されているものと思われる。小中高の合計の全授業実時間は、モンゴル国では 8058 時間、日本では 8930 時間で、モンゴル国の方が短い。

なお、モンゴル国の初等・中等教育は小中高一貫校で行われるのが一般的である。モンゴル国教育科学省の統計によると、2023 年の高校進学率（第 9 学年が第 10 学年に進学する割合）は 83.2% であった。UNESCO がまとめた 2023 年の世界の大学進学率（大学での総就学者数を大学在学適齢人口で割った比率）のデータによると、モンゴル国の大学進学率は 65.3% で、日本の 64.6% とほぼ同程度であった（GLOBAL NOTE, 2024）。

表 1. モンゴル国の理科に関する科目および全教科の時間数

学年	校種	一単位時間	理科に関する各教科の授業時間数							時間数計 理科	実時間計 理科	時間数計 全教科	時間数 教員調整	時間数計 全授業	実時間計 全授業
			環境と人間と	人間と自然	物理	生物	化学	選択科目	地理						
1	小学校	35	64									666	64	730	426
2			64									704	34	738	431
3			64						0	0	704	34	738	492	
4			64						64	43	768	34	802	535	
5			64						64	43	864	33	897	598	
6	中学校	40			33	33	33		99	66	957	268	1024	683	
7					66	66	66		33	198	132		1155	1222	815
8					66	66	66		33	198	132		1155	1222	815
9					66	66	66		33	198	132		1155	1222	815
小中計			192	128	231	231	231		99	821	547	8128	467	8595	5608
10	高校	40			66	66	66	198	66	396	264	1155	144	1203	802
11					66	66	66	231	66	352	235	1188		1236	824
12								594		396	264	1188		1236	824
高校計					132	132	132	1023	132	1144	763	3531	144	3675	2450
小中高計			192	128	363	363	363	1023	231	1965	1310	11659	611	12270	8058

モンゴル国コアカリキュラムより作成（モンゴル国教育科学省, 2019a; 2019b; 2019c）

表 1 の注釈

- ・「一単位時間」とは分単位の 1 回あたりの授業時間である。「授業時間数」とは年間の授業回数である。
- ・高校の「選択科目」では、言語 4 科目、数学 1 科目、自然科学 3 科目（物理・生物・化学）、社会科学 4 科目、デザインと技術 3 科目の計 15 科目から、第 10 学年では 4 科目、第 11 学年および第 12 学年ではそれぞれ 3 科目を選択する。
- ・「理科時間数計」は青字の科目を除いた各教科の授業時間数の合計である。第 10 学年では自然科学を 3 科目履修するとして計算した。第 11 学年および第 12 学年では自然科学を 2 科目履修する（全時間数の 2/3 が理科）と想定して計算した。
- ・「実時間計」は「時間数計」を実時間（単位は時間）に換算したもので、小数点以下は四捨五入してある。
- ・「教員調整時間数」とは教科以外の教員裁量の時間数である。中学校と高校では、学年指定なしで設定されている。
- ・「全授業時間数計」は「全教科時間数計」と「教員調整時間数」を合計した時間数である。ただし、中学校と高校については、学年指定なしで設定されている「教員調整時間数」を各学年に均等に割り振って計算した。

表 2. 日本の理科に関係する科目および全教科の時間数

学年	校種	一単位時間	理科に係る各教科の授業時間数						時間数計 理科	実時間計 理科	時間数計 全授業	実時間計 全授業
			生活	理科	物理	化学	生物	地学				
1	小学校	40	102								850	638
2			105								910	683
3				90					90	68	945	709
4				105					105	79	980	735
5				105					105	79	980	735
6				105					105	79	980	735
7	中学校	50		105					105	88	1015	846
8				140					140	117	1015	846
9				140					140	117	1015	846
小中計			207	790					790	625	8690	6771
前半	高校	50			70	70	70	70	210	175	2590	2158
後半					140	140	140	140	280	233		
高校計					210	210	210	210	490	408	2590	2158
小中高計			207	790	210	210	210	210	1280	1033	11280	8930

学習指導要領（文部科学省，2017a；2017b；2018）より作成

表 2 の注釈：

- 各欄の数字の意味は基本的には表 1 と同じである。
- 高校の欄の左端の「前半」は「物理基礎」「化学基礎」「生物基礎」「地学基礎」のことを指す。「後半」は「物理」「化学」「生物」「地学」のことを指す。これ以外の理科に関係する科目もあるが省略した。
- 高校の科目の授業時間数は標準単位数から計算した。
- 「理科時間数計」の計算では、「前半」で 4 科目のうち 3 科目、「後半」で 3 科目のうち 2 科目を履修するとして計算した。
- 高校の「全授業時間数計」は、75 単位（卒業までに履修する単位数の下限）× 35 単位時間（1 単位当たりの授業時間数）とした。

2.2. 理科教育についての概要

表 1 に示したように、モンゴル国の理科に関係する科目の構成と学年配当は日本とは異なる部分が多い。モンゴル国の第 1 学年～第 3 学年で行われている「人間と環境」は、日本で第 1 学年～第 2 学年で行われる「生活」にあたる科目である。気象・生物等の理科的な内容も一部入っているが、化学分野に関する内容は入っていないので、今回の調査の対象外とした。モンゴル国では日本の小学校理科にあたる内容は「人間と自然」という科目として第 4 学年から実施されている。「人間と自然」は私学等の一部の学校を除いてクラス担任が授業を担当している。

中学校および高校の理科は物理・化学・生物の 3 科目に分けて実施される。『前期中等教育カリキュラム』（モンゴル国教育科学省，2019b）によると、中学校の理科カリキュラムで「分析的なアプローチ」（科学の方法論など）を取り扱うことになっているが、この内容は自然科学の科目「物理」「生物」「化学」の時間内に行われている。日本の理科カリキュラムの地学分野で教えられている内容に対応した独立した科目はモンゴル国にはない。しかし、社会科学の科目である「地理」（第 7 学年～第 11 学年で必修）において、天文、地質、気象といった理科的な内容がかなりの分量で実施されている。

モンゴル国では高校において各学年に「選択科目」が設けられており、言語 4 科目、数学 1 科目、自然科学 3 科目（物理・生物・化学）、社会科学 4 科目、デザインと技術 3 科目の計 15 科目から選択するようになっている。

「選択科目」は第 10 学年で 4 科目、第 11 学年と第 12 学年でそれぞれ 3 科目履修する必要がある。理系の大学進学を希望する学生は、大学入試で数学が課されることが多いので、選択科目として第 10 学年で数学と理科 3 科目、第 11・12 学年で数学と理科 2 科目を履修するのが一般的である。一方、日本においては大学に進学する理系の生徒は「物理基礎」「化学基礎」「生物基礎」「地学基礎」のうち 3 科目、「物理」「化学」「生物」「地学」のうち 2 科目を履修するのが一般的である。

モンゴル国と日本の理科に関する実授業時間を比較すると、小中学校ではモンゴル国 547 時間に対して日本 625 時間で、モンゴル国は日本の 88% である。中学校の「地理」（実時間で 66 時間）で地学分野の内容が入っているので、これを考慮すると日本の実時間数に近づくが、それでも若干モンゴル国の方が少なめであることには変わりはない。これは、第 6 学年までの時間数が少ないためで、第 7 学年～第 9 学年ではむしろ日本より実時間が長くなっている。高校については両国とも選択科目が入ってくるので厳密には比較が難しいが、理系分野の大学進学を目

指す生徒の典型的な履修パターンから時間数を計算した（詳細は表 1 および表 2 の注釈を参照のこと）。その結果、高校における理科に関する実時間の合計は、モンゴル国 763 時間に対して日本 408 時間で、モンゴル国は日本の 2 倍弱の時間数となった。ただし、日本の進学校では標準単位数が 4 単位である「物理」「化学」「生物」「地理」を各 6 単位で実施することが普通であり、その場合は日本の実時間の合計は 525 時間になる。

なお、モンゴル国の理科カリキュラムはケンブリッジ国際教育プログラム（ケンブリッジ国際教育, 2024）を参考にして作られている。

3. モンゴル国の化学分野のカリキュラム内容および日本との比較

3.1. 全般

本報告の末尾に付録としてモンゴル国の化学分野カリキュラムの日本語訳を掲載する。また、表 3 にモンゴル国の小中学校における化学分野カリキュラムの概要と日本のカリキュラムでの配当年次を示す。モンゴル国では教育科学省が定めた国定教科書が使われている。モンゴル国のコアカリキュラムには、ある程度具体的に内容が規定されているが、教科書を確認するとコアカリキュラムには書かれていない内容もかなりあった。そこで、付録および表 3 を作成する際には理科の国定教科書（モンゴル国教育科学省, 2014; 2015; 2017）の内容も加味した。また、「化学」だけでなく「物理」の中で扱われている化学に関連する熱・物性・原子等の内容も含めた。表 3 を見ると、

表 3. モンゴル国の小中学校における化学分野カリキュラムと日本のカリキュラムでの配当年次

学年	モンゴル国	日本
4	<u>磁気</u> 物質の磁性、磁石の極 <u>導電体と絶縁体</u> 電気回路、物質の電気伝導 <u>固体、液体、気体</u> 固体、液体、気体の違い（形状、圧縮、流れ） 溶液中の物質、水への可溶性物質と不溶性物質 <u>溶液の均一性および質量保存は扱わない</u> 固体、液体、気体、溶液について粒子モデルで説明	第 3 学年 <u>磁石の性質</u> 第 3 学年 <u>電気の通り道</u> 第 4 学年 <u>空気と水の性質</u> 第 5 学年 <u>物の溶け方</u> 第 7 学年 <u>状態変化、水溶液</u>
5	<u>物質の状態変化</u> 水の三態変化、自然界での水の循環 <u>可逆的变化と不可逆的变化</u> 可逆的变化と不可逆的变化の区別 混合物から鉄、砂、おがくずの分離 ろうそくの燃焼	第 4 学年 <u>金属、水、空気と温度</u> 高校化学 第 7 学年 <u>物質のすがた</u> 第 6 学年 <u>燃焼の仕組み</u>
6	<u>固体、液体、気体</u> 固体、液体、気体の性質と状態変化を粒子モデルで説明 <u>状態変化の際の質量保存は扱わない</u> <u>材料の性質</u> 日常的な材料の性質、金属と非金属材料、金属の一般的性質 <u>酸とアルカリ</u> 酸性・アルカリ性、中和反応 <u>化学と生活</u> <u>酸性物質の環境への影響</u> 、水質汚染	第 7 学年 <u>状態変化</u> 第 7 学年 <u>物質のすがた</u> 第 6 学年 <u>水溶液の性質</u> 第 6 学年 <u>生物と環境</u>
7	<u>単体、化合物、混合物</u> 気体の圧力の粒子論による説明、拡散・溶解現象の粒子論による説明 原子・分子、単体・化合物・混合物、金属と酸との反応、電気分解 <u>金属と非金属元素</u> 金属元素と非金属元素 酸化物、水酸化物、塩化物、硫酸塩、炭酸塩、金属の腐食 <u>化学反応</u> 言語方程式での表現 <u>化学と生活</u> <u>土壌の性質、土壌汚染</u> <u>物理</u> 固体および液体の密度	高校化学基礎・高校化学 第 8 学年 <u>物質の成り立ち</u> 高校化学基礎 第 9 学年 <u>水溶液とイオン</u> 第 8 学年 <u>化学変化</u> 第 7 学年 <u>物質のすがた</u>

8	<u>原子構造と周期表</u> 原子構造（陽子、中性子、電子） ボーアモデル、周期表、周期と族に沿った元素の性質の変化 <u>実験技術と測定</u> 時間、温度、質量、体積の測定、機器の命名 <u>塩の生成方法</u> イオン <u>化学エネルギー</u> 吸熱反応と発熱反応、酸化 <u>酸化還元は第9学年で扱う</u> <u>反応性と反応速度</u> 金属の酸素・水・希酸との反応性、イオン化傾向 反応速度（濃度、物質量、温度、触媒による変化） <u>化学と生活</u> 水質と大気汚染 日本では第8学年で扱う化学量論は第10学年で扱う	第9学年 <u>水溶液とイオン</u> ボーアモデル・周期表は高校化学基礎、高校化学 個々の単元で扱っている 第9学年 <u>水溶液とイオン</u> 第8学年 <u>化学変化</u> 高校化学基礎 高校化学 第9学年 <u>科学技術と人間</u>
9	<u>物質の状態と拡散</u> 分子運動、状態変化、拡散、ブラウン運動 気体の PVT 関係の定性的説明、<u>拡散速度の温度依存性</u> <u>実験技術</u> 蒸留、結晶化などの精製方法 <u>原子</u> 原子番号、質量数、同位体、エネルギー準位、電子配置、価電子 <u>周期表</u> 元素の分類と性質の予測における周期表の使用 アルカリ金属、ハロゲン、不活性ガス、遷移元素（各論を含む） <u>化学結合と物質の構造</u> イオンの形成、共有電子対による単共有結合の形成、酸化還元 イオン性化合物と共有結合性化合物の性質 化合物の構造式、有機分子の分子式 イオン性化合物の化学式の構築、金属結合（金属イオン、自由電子） 化学反応式、質量保存則 <u>化学エネルギー</u> 発熱反応と吸熱反応、結合エネルギーと反応熱 <u>酸、塩基、塩</u> 金属、塩基、炭酸塩の酸との反応 pH（整数のみ）、酸性酸化物と塩基性酸化物 <u>空気と水</u> 空気の構成要素 <u>水の浄化方法</u>、大気汚染物質、温室効果ガス <u>有機化学</u> アルカン、アルケン、アルコール、酸の構造と命名法、官能基、構造異性体 日本では第9学年で扱う電気分解、電池は第10学年で扱う <u>物理</u> 気体の PVT 関係の定性的表現、内部エネルギー、熱容量 固体・液体・気体の熱膨張、物質の熱伝導と断熱特性、対流	高校化学基礎・高校化学 状態変化および溶解の単元で扱う 高校化学基礎 高校化学基礎 元素の各論は高校化学 第9学年 <u>水溶液とイオン</u> 高校化学基礎 高校化学 高校化学基礎 第8学年 <u>化学変化</u> 高校化学基礎 第6学年 <u>水溶液の性質</u> 第9学年 <u>水溶液とイオン</u> 高校化学基礎 第6学年 <u>燃焼の仕組み</u> 第9学年 <u>科学技術と人間</u> 高校化学 高校化学基礎、高校物理基礎 第4学年 <u>金属、水、空気と温度</u>

表3の注釈 下線： カリキュラムの単元名

赤字： モンゴル国の小中学校のカリキュラムにあるが日本の高校までのカリキュラムにはない内容

青字： モンゴル国の小中学校のカリキュラムにはないが日本の小中学校のカリキュラムにある内容

モンゴル国では理科の内容が第4学年から始まっている（日本は第3学年）にも関わらず、第5学年以降は全般的に日本より前倒しで実施されていることがわかる。モンゴル国の小中学校の理科に関する実授業時間が日本に比べて短いことを考えると、かなり内容を詰め込んでいることになる。付録を見ると、モンゴル国の高校の理科

では、第 12 学年の選択科目を中心に、標準電極電位、錯体化合物における d 軌道の分裂など、日本の大学レベルの内容も扱っていることがわかる。

3.2. 粒子モデルの扱い

モンゴル国の化学分野のカリキュラムの特徴は、粒子モデルを重視している点にある。粒子モデルに関連したモンゴル国の教科書（モンゴル国教育科学省, 2014; 2015; 2017）および日本の教科書（例えば 東京書籍, 2020; 2022; 2023）の主な内容を表 4 にまとめた。モンゴル国のカリキュラムは、粒子モデルを第 4 学年から導入し、固体・液体・気体の性質の違い、三態変化、気体の圧力、溶解、拡散、反応速度、ブラウン運動などの豊富な事例を粒子

表 4. 粒子モデルに関連した両国の教科書の内容

学年	モンゴル国	日本
3		<u>物と重さ</u> 物質を変形・分割しても 質量保存
4	<u>固体、液体、気体</u> 粒子の空間的な配置（粒子の間隔など）から固体・液体・気体の性質の違い（形状、圧縮性、流動性）を説明 溶液中の物質の状態を粒子モデルで説明	<u>空気と水の性質</u> 空気と水の圧縮性、空気を圧縮したときのおし返す力 <u>金属、水、空気と温度</u> 金属・水・空気の熱膨張、水の三態変化
5	<u>物質の状態変化</u> 水の三態変化を粒子モデルで説明	<u>物の溶け方</u> 溶解における 質量保存 、溶液の均一性
6	<u>固体、液体、気体</u> 粒子間の引力、粒子の熱運動と加熱による加速にも言及	<u>水溶液の性質</u> <u>酸と金属の反応では別の物質が生成（溶解とは異なる）</u>
7	<u>単体、化合物、混合物</u> 粒子の熱運動により溶解・拡散速度の温度依存性を説明 気体中と液体中の拡散速度の違いを粒子モデルで説明 気体の圧力について壁への粒子の衝突によると説明	<u>水溶液</u> 溶解を粒子モデルで説明 <u>状態変化</u> 三態変化を粒子モデルで説明、三態変化での 質量保存 粒子の熱運動にも言及
8	<u>原子構造と周期表</u> 原子・分子を導入、陽子・中性子・電子も導入 <u>反応性と反応速度</u> 反応速度の濃度および温度変化を粒子モデルで説明	<u>物質の成り立ち</u> 物質の分解を足掛かりに原子・分子、単体・化合物を導入 <u>化学変化</u> 化学反応式を導入、化学反応での 質量保存 <u>物質の化合するとき質量比は一定（定比例の法則）</u>
9	<u>物質の状態と拡散</u> 気体の PVT 関係の粒子モデルによる定性的な説明 気体の拡散速度の分子量・温度依存性を粒子論で説明 ブラウン運動への言及 <u>化学結合と物質の構造</u> イオンを導入、化学反応の説明の中で 質量保存則 に言及	<u>水溶液とイオン</u> 陽子・中性子・電子、イオンを導入
10 以上	<u>第 10 学年</u> 原子量、アボガドロ数、物質量を導入、 化学量論（定比例の法則）	<u>化学基礎</u> 原子量、アボガドロ数、物質量を導入 拡散の粒子モデルによる説明 <u>化学</u> 気体の圧力の粒子モデルによる説明、気体の PVT 関係、ブラウン運動、反応速度の粒子モデルによる説明

表 4 の注釈 下線： カリキュラムの単元名もしくは科目名

青字： 粒子に関係した内容であるが粒子モデルで説明せず現象のみ紹介している内容

ゴシック： 質量保存則に関係する内容

モデルで説明するというスパイラル型の構造になっている。特筆すべきは、日本では高校まで扱われない拡散現象が粒子の熱運動の教材として第7学年と第9学年で取り上げられている点である。その中には日本の高校までの教科書では扱われていない内容（液体中と気体中の拡散速度の違い、気体の拡散速度の分子量・温度依存性など）も含まれている。これ以外にも、モンゴル国の教科書には溶解が攪拌しなくても起こること、高温ほど溶解が速く進むことが粒子の熱運動の観点から取り上げられている。このように、モンゴル国のカリキュラムは、粒子概念の基本（粒子とその間のすき間の存在、粒子間の引力、粒子の熱運動）を軸に据えた、系統性を重視した内容になっていると言える。

日本のカリキュラムにおいても「粒子」を重要概念として位置付けていることに変わりはない。これは、小学校および中学校の学習指導要領解説理科編（文部科学省, 2017a; 2017b）で理科の内容構成を「エネルギー」「粒子」「生命」「地球」の4つの柱に整理し、「粒子」についてはさらに「粒子の存在」「粒子の結合」「粒子の保存性」「粒子のもつエネルギー」に分類していることにも表れている。しかしながら、日本の理科カリキュラムでは実際の粒子概念の導入が第7学年（中学1年生）と比較的遅い。そのため、第6学年まで（小学校段階）は気体の圧縮性や圧力、三態変化、溶解などについて現象のみ紹介し、その粒子モデルでの説明は第7学年以降に先送りするという構造になっている。特に、気体の圧力については第4学年で閉じ込められた空気を圧縮した際の「おし返す力」として現象論的に扱うが、粒子モデルによる説明が高校化学まで出てこない。現行の学習指導要領では溶液の均一性について第5学年で扱う。これについては前回の2017年の学習指導要領の改訂において第7学年から第5学年に移動されたという経緯があり、重要視されている内容だと言える。しかし、溶液の均一性の粒子論的説明（溶媒の粒子の熱運動によって溶質の粒子が均一に分散し、その状態が保持される）は小学校の教科書はもちろん中高の教科書にも見当たらない。このように、日本のカリキュラムは様々な現象を粒子論的に理解するという点で構造的な弱点を持っていると言わざるを得ない。高原（2024）は気体の圧力についての粒子論的な理解が大学生においても不十分であるという調査結果を得ているが、その一因はこのカリキュラム上の構造的弱点にあると考えられる。

一方で、日本のカリキュラムでは質量保存則が重視されている。表4に示されている通り、第3学年の「物と重さ」、第5学年の「物の溶け方」、第7学年の「状態変化」、第8学年の「化学反応」と、異なる現象における質量保存則をスパイラル型で学んでいる。そして、第8学年では、化学変化と物理変化の両方で質量保存則が成り立つ理由について、いずれの変化でも原子の数が保存されるためであると説明している。この流れは、簡単な実験で実証可能な質量保存則を、実証が難しい粒子概念の有効性を示す材料として活用しようとするものである。第3学年の「物と重さ」は2008年の学習指導要領改訂で新規に追加された内容であり（玉井, 2013）、この段階で質量保存則の重視がさらに進んだことになる。ちなみに、モンゴル国では日本の第7学年までで扱われている質量保存に関する内容（変形や分割によって質量が変化しないこと、状態変化と溶解の際に質量が保存すること）は扱われていない。

日本のカリキュラムにおいて質量保存則が重視される背景に、質量の保存について児童生徒の中に誤概念（素朴概念）が発生しやすいという事実（玉井, 2013; 児玉ら, 2014）があると考えられる。同様に、2017年の学習指導要領の改訂において前倒しで教えることになった溶液の均一性についても、児童生徒は誤概念を持ちやすいことが明らかになっている（戸井, 2019）。これらのことから、日本のカリキュラムは児童生徒の誤概念を意識した内容になっていると言えるだろう。なお、誤概念研究は1980年代からアメリカで注目され、現在では科学教育における重要性が世界的に認知されているが、実は日本においては既に1950年代後半から今日で言われるところの誤概念研究にあたるものが始まっている（塚本, 2004）。その後、仮説実験授業研究会や科学教育研究協議会などの民間教育団体等が中心となって児童生徒の誤概念を意識した教材開発が行われてきた（板倉・細川, 1971; 板倉・渡辺, 1974; 野瀬, 2023）。小学校理科の教科書（東京書籍, 2020）を見ると、仮説実験授業研究会の授業書《ものとその重さ》（板倉・渡辺, 1974）等で扱われている問題と類似した内容が取り上げられている。これらのことは、民間教育団体等の開発した教材がカリキュラムおよび教科書に一定程度反映された可能性を示唆している。

3.3. その他の内容

粒子モデル以外の内容について、モンゴル国と日本のカリキュラムで特に異なっているのは以下の点である。

- ① 日本では第4学年で扱われている熱伝導と熱膨張については、モンゴル国では前者が第6学年の「化学」で、後者が第9学年の「化学」と「物理」で扱われている。
- ② モンゴル国のカリキュラムでは、酸化還元的位置づけが日本に比べて相対的に低い。モンゴル国の中学校までのカリキュラムでは、酸化還元が単元として独立していない。酸化還元自身およびこれに関連する「酸で溶ける金属」、「電池」といった内容が、日本より上級年次で教えられている。
- ③ モンゴル国では環境問題および鉱物資源の内容が日本に比べて分量が多い。これはモンゴル国固有の事情（大気汚染等の深刻な環境問題、銅・石炭など鉱業の重要性など）が反映されていると思われる。
- ④ 無機化学や有機化学の各論が中学校段階からかなりの分量で取り上げられている。

上記の①と②は、モンゴル国のカリキュラムが系統性を重視していることの結果であると考えられる。すなわち、熱伝導と熱膨張はより基本的な粒子の熱運動の応用、酸化還元はより基本的なイオン化などの応用と見なし、後に回しているということである。モンゴル国の中学校では、上記③と④に加え、既に触れたように粒子モデルに関係した内容も豊富に扱われており、日本に比べて内容的に密度が高いことが改めてわかる。

4. おわりに

今回の調査で、モンゴル国のカリキュラムは日本に比べて系統性が重視されており、粒子モデルをスパイラル型で学習していることがわかった。また、中学校終了時点までの理科の授業時間が日本よりも短いにも関わらず学習内容が日本に比べて多いことがわかった。一方で、日本のカリキュラムは、粒子の保存性を意識させるために質量保存則を重視し、これをスパイラル型で学んでいることがわかった。さらに、日本のカリキュラムと教科書には児童生徒の誤概念（素朴概念）を意識した内容が取り入れられていることが確認できた。これらの日本のカリキュラムおよび教科書の特徴が形成にされた経緯および日本国内の誤概念研究の与えた影響については、本報告では詳細に検討するに至っていないので、今後の課題としたい。

日本のカリキュラムについて、小学校段階から粒子モデルを取り上げるべきだとする主張もある（村上祐, 2010; 西嘉之, 2020）。その可能性を考える際に、既に第4学年から粒子モデルを導入しているモンゴル国の実践結果は役立つであろう。特に、モンゴル国の教科書で扱われている拡散現象に関する実験教材を日本の教育に取り入れることは、検討に値するだろう。同時に、モンゴル国の児童生徒は粒子モデルを無理なく受け入れているのか、粒子モデルを活用する力がついているのか調査が必要である。

モンゴル国のカリキュラムでは化学反応以外の変化における質量保存則が扱われていない。また、溶解したときに溶質の粒子が溶媒中に均一に分散することは扱われているが、時間が経ってもその均一性が変化しないということは扱われていない。質量保存則は変化の前後で原子の数が変化しないことの応用、溶液の均一性の保持は粒子の運動の応用として理解できるので、あえて強調しないということかもしれない。しかし、これらの内容について日本の児童生徒は誤概念を持ちやすいことがわかっており、モンゴル国の状況を調査する必要がある。

今回の調査で、両国の化学分野のカリキュラムは大きく異なることがわかったが、実際に現場で実践されている教育内容や児童生徒の状況の比較は今後の課題として残った。両国がより詳細な教育内容等を共有することは、今後の両国の理科教育の改善に役立つと考えられる。

日本の高校カリキュラムの実情について情報提供いただいた高橋和成氏（元岡山理科大学附属高校教諭）に感謝を申し上げる。本報告はJSPS 科研費 課題番号：JP22K00699 の助成を受けたものである。

引用文献

- GLOBAL NOTE (2024). 『世界の大学進学率 国別ランキング・推移』(<https://www.globalnote.jp/post-1465.html#>) (2024年12月31日)
- 原田省吾 (2023). 「モンゴル国の教育カリキュラムにおける家庭科教育の位置づけー我が国の家庭科教育との比較を通してー」 『国際教育研究所紀要』 33, 33-44.

- 日上奈央子 (2020). 「モンゴル国小学校理科における問題解決型授業のあり方の特徴～教科書の問いの傾向の分析から～」『科学教育研究』44(2), 148-155.
- 日上奈央子 (2022). 「モンゴル国小学校理科の動画教材の問題解決場面の分析—「てこ」の単元を用いて—」『理科教育学研究』63(1), 161-168.
- 井本美穂 (2023). 「モンゴル国の小学校音楽科教育に関する研究—教育課程における身体表現活動に着目して—」『国際教育研究所紀要』33, 1-10.
- 板倉聖宣・細川準三 (1971) 『仮説実験授業記録集成 1 溶解』国土社.
- 板倉聖宣・渡辺慶二 (1974) 『仮説実験授業記録集成 4 ものとその重さ』国土社.
- ケンブリッジ国際教育 (2024). 『ケンブリッジ国際教育プログラム』 (<https://www.cambridgeinternational.org/>) (2024 年 12 月 29 日)
- 兒玉光弘・中山迅・猿田祐嗣 (2014). 「TIMSS 論述式課題の回答にみられる質量保存概念の問題点」『日本科学教育学会研究会研究報告』29(1), 53-58.
- モンゴル国教育科学省 (2014). 『人間と自然 IV-V』(ХҮН БА БАЙГАЛЬ)
- モンゴル国教育科学省 (2015). 『化学 VII-IX』(ХИМИ)
- モンゴル国教育科学省 (2017). 『化学 X-XI』(ХИМИ)
- モンゴル国教育科学省 (2019a). 『初等教育プログラム 改訂第 2 版』(БАГА БОЛОВСРОЛЫН СУРГАЛТЫН ХӨТӨЛБӨР)
- モンゴル国教育科学省 (2019b). 『前期中等教育プログラム 改訂第 2 版』(СУУРЬ БОЛОВСРОЛЫН СУРГАЛТЫН ХӨТӨЛБӨР)
- モンゴル国教育科学省 (2019c). 『後期中等教育プログラム 改訂第 2 版』(БҮРЭН ДУНД БОЛОВСРОЛЫН СУРГАЛТЫН ХӨТӨЛБӨР)
- 文部科学省 (2017a). 『小学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説 理科編』
- 文部科学省 (2017b). 『中学校学習指導要領 (平成 29 年告示) 解説 理科編』
- 文部科学省 (2018). 『高等学校学習指導要領 (平成 30 年告示) 解説 理科編 理数編』
- 村上祐 (2010). 「小・中理科における望ましい粒子概念教育の提言：国の調査結果の背景および独自調査の分析から」『岩手大学教育学部研究年報』69, 73-87.
- 西嘉之 (2020). 「小・中学校理科における粒子概念の形成について」『神奈川大学心理・教育研究論集』47, 243-254.
- 野瀬薫 (2023). 「理科教育における実践の継承とこれからの理科教育に関する一考察」『滋賀文教短期大学紀要』25, 213-225.
- 妻藤純子 (2023). 「小学校美術教育におけるモンゴル国と日本の技能指導」『国際教育研究所紀要』33, 45-57.
- 高原周一 (2024). 「気体の圧力に関する大学生の誤概念：基盤教育科目における実態調査と教育実践」『岡山理科大学教育実践研究』7, 169-180.
- 高原周一・坂本南美 (2024). 「モンゴル国における ICT を活用したイオンに関する CLIL 授業の実践」『日本科学教育学会研究会研究報告』38(6), 23-26.
- 玉井裕和 (2013). 「「物にはすべて重さがある」という認識を創る学習内容」『近畿大学教育論叢』25 (1), 51-72.
- 田中玄伯・高原周一 (2024). 「溶解の授業実践と粒子概念の理解度に関する研究」『第 74 回日本理科教育学会全国大会論文集』431.
- 戸井伸泰 (2019). 「定量的実験を軸にした科学概念の形成：「水溶液の均一性」概念の定着を目指して」『上越教育大学学校教育実践研究センター 教育実践研究』29, 67-72.
- 東京書籍 (2020). 『新しい理科 3-6』(小学校理科教科書)
- 東京書籍 (2022). 『新しい科学 1-3』(中学校理科教科書)
- 東京書籍 (2023). 『化学基礎』および『化学 理論編・物質編』(高校化学教科書)
- 塚本浩司 (2004). 「仮説実験授業の理論と、1980 年以降の英米における「新しい物理教育研究」」『物理教育』52(2), 133-139.

付録 モンゴル国の化学分野カリキュラム

※ 「注：」の部分は教科書の内容も踏まえた著者による注釈、下線部は日本の高校までの理科で扱われていない内容である。

小学校 「人間と自然」

<第4学年>

4.1. 生命 (省略)

4.2. 物質現象

光の性質 (省略)

磁気

- 4.2h. 磁石を使用する際の安全ルールを説明する
- 4.2i. 磁石に引き付けられる材料と引き付けられない材料を識別する
- 4.2j. 磁石の作用を引力と斥力に基づいて説明する
- 4.2k. 極に対する磁石の引力と反発を説明する
- 4.2l. 磁石を使って鉄（ゼムクリップ）の磁性を測定する

導電体と絶縁体

- 4.2m. 簡単な電気回路要素の機能と名前を覚える
- 4.2n. 電気回路要素の記号、実際の回路図、教材について認識する
- 4.2o. 電池や電球を使用して与えられる材料の導電度を認識する
- 4.2p. 金属とプラスチックの用途を挙げる

固体、液体、気体

- 4.2q. 一般的に存在する固体、液体、気体を特定し、名前を付け、例を挙げる
- 4.2r. 固体、液体、気体の違い（形状、圧縮性、流動性）を粒子の位置と間隔に関連付けて説明する
- 4.2s. 溶液中の物質について粒子で描いて説明する
- 4.2t. 固体を水と混合したときに起こる変化を特定し、それらを可溶性または不溶性として分類する

計画と地図 (省略)

<第5学年>

5.1. 地球 (省略)

5.2. 物質現象

物質の状態変化

- 5.2a. 水が固体、液体、気体に変化する現象を条件に応じて説明する
- 5.2b. 融解、凍結時の変化を物質の微粒子で図示する
- 5.2c. 蒸発、液化時の変化を物質の微粒子で図示する
- 5.2d. 固体、液体、気体の状態変化という観点から自然界の水循環を説明する

可逆的变化と不可逆的变化

- 5.2e. 現象を可逆・不可逆に分類し、例を挙げる
- 5.2f. ろうそくの燃焼は不可逆的な現象であると判断する
- 5.2g. 鉄、砂、おがくずを混合物から分離し、可逆現象であることを確認する

天気と気候 (省略) てこと簡単な機構 (省略)

5.3. 生命 (省略)

中学校 「化学」

<第6学年>

6.1 固体、液体、気体

- 6.1a. 粒子理論を用いて固体、液体、気体の状態にある物質の性質を説明する
 - 6.1b. 粒子理論を用いて物質の状態変化を説明する
- 注：沸点・融点、蒸発と沸騰、粒子間の引力および粒子の熱運動にも言及

6.2 材料の性質

- 6.2a. 日常的な材料とその性質を特定する
- 6.2b. 金属と非金属材料の違いを確認する 注：金属の熱伝導性、延性・展性も扱う

6.3 酸とアルカリ

- 6.3a. 指示薬を使用して材料を酸性またはアルカリ性に分類する
- 6.3b. 中和反応とその実生活での応用例を説明する

6.4 化学と生活

- 6.4a. 酸性物質や材料の環境への影響を特定する

6.4b. 水質汚染とその原因を特定する

＜第7学年＞

7.1 化学元素、化合物、混合物

- 7.1a. 粒子理論を用いて固体、液体、気体の性質、状態変化、気体の圧力、拡散現象を説明する
注：溶解・拡散速度の温度依存性および気体中と液体中の拡散速度の違いの粒子理論による説明を含む
- 7.1b. 単体が同種の原子または複数の原子から成る分子で構成されていることを特定する
- 7.1c. 周期表の最初の20元素の化学記号を暗記する
- 7.1d. 物理的性質に基づいて単体、化合物、混合物を区別する

7.2 金属と非金属元素

- 7.2a. 金属と非金属元素の違いを説明する 注：様々な材料の密度の違いも扱う
- 7.2b. 酸化物、水酸化物、塩化物、硫酸塩、炭酸塩などの一般的な化合物を命名する
注：水を蒸発させて溶質を取り出すこと、金属と酸の反応、電気分解についても扱う

7.3 化学反応

- 7.3a. 化学反応を言語式で表現する 注：言語式とは 炭素 + 酸素 → 二酸化炭素 といった表記の反応式
- 7.3b. 指示薬を使用して化学反応の発生を検出する
- 7.3c. 実用的でない化学反応を特定する 注：金属が錆びるなどの好ましくない反応を扱う

7.4 化学と生活

- 7.4a. 土壌の性質を特定する 注：土壌の酸性度などを扱っている
- 7.4b. 人間活動が環境（土壌汚染）に与える影響を特定する

中学校「物理」（物体の一般的な特徴）で以下の内容を学習

固体および液体の密度、気体および液体中の物体の浮遊および沈降、物体の温度の計測

＜第8学年＞

8.1 原子構造と周期系

- 8.1a. ラザフォードモデルとボーアモデルに基づいて原子構造を特定する
注：陽子・中性子・電子、質量数、電子殻、各電子殻の定員も説明
- 8.1b. 周期表の最初の20元素の原子構造を比較する
- 8.1c. 周期表の周期と族に沿った性質の変化の傾向を特定する 注：アルカリ金属、ハロゲン、希ガスを扱う

8.2 実験技術と測定

- 8.2a. 時間、温度、質量、体積の測定、ビュレット、ピペット、メスシリンダーなどの機器を命名する

8.3 塩の生成方法

- 8.3a. 金属と金属炭酸塩からの塩の生成反応を言語式で記述する 注：イオンについての言及あり
- 8.3b. 金属または金属炭酸塩と酸との反応による基本的な塩の生成方法を説明する

8.4 化学エネルギー

- 8.4a. 温度変化に基づいて吸熱反応と発熱反応を説明する 注：酸化反応について言及もある

8.5 反応性と反応速度

- 8.5a. 金属の酸素、水、希酸との反応性を特定する
- 8.5b. 実験結果に基づいて金属の反応性系列（注：イオン化傾向と同じもの）を作成する
- 8.5c. 反応性系列に基づいて置換反応の例を示す
- 8.5d. 衝突理論を用いて濃度、物質質量、温度、触媒が反応速度に与える影響を説明する 注：粒子論による説明あり

8.6 化学と生活

- 8.6a. 科学者の実験と発見を研究者の観点から分析する
- 8.6b. 水質と大気汚染に対する人間の影響を説明する
- 8.6c. 水質と大気汚染を防ぐ方法を特定する

中学校「物理」（電気と磁気）で 帯電体と電荷の相互作用 を学習

＜第9学年＞

9.1 物質の状態と拡散

- 9.1a. 分子運動論に基づいて物質の状態を特定し、状態変化を説明する 注：気体のPVT関係の定性的な説明あり
- 9.1b. 拡散とそれに影響を与える要因（分子量、温度）を説明する 注：ブラウン運動についての言及あり

9.2 実験技術

- 9.2a. 蒸留（分留を含む）、結晶化、適切な溶媒を使用した精製方法を特定する

9.3 原子

- 9.3a. 陽子、電子、中性子の相対電荷と相対質量を公式化する
- 9.3b. 陽子数（原子番号）、核子数（質量数）を特定する
- 9.3c. 陽子数と原子構造を使用して周期表の基礎を説明する（陽子数1-20の元素について）

- 9.3d. 放射性および非放射性同位体を特定する
- 9.3e. 医学、産業、エネルギー源における放射性同位体の応用を例示して説明する
- 9.3f. 原子の相対質量を公式化する 注：原子の存在比から原子量を計算する
- 9.3g. エネルギー準位による電子配置、不活性ガスの電子構造と価電子の重要性を理解する

9.4 周期表

- 9.4a. 元素の分類とその性質の予測における周期表の使用方法を特定する
- 9.4b. 周期表の周期に沿って元素の性質が金属から非金属に変化することを特定する
- 9.4c. 第1族の軟金属であるリチウム、ナトリウム、カリウムの融点、沸点、密度、水との反応の変化傾向を説明する
- 9.4d. 第7族の塩素、臭素、ヨウ素の色、状態、他のハロゲン化物イオンとの反応の変化の傾向を説明する
- 9.4e. 不活性ガスの反応性が低いことを特定し、その応用を説明する
- 9.4f. 遷移元素が高密度で高融点を持ち、有色化合物を形成し、元素とその化合物が触媒として使用される金属であることを特定する

9.5 化学結合と物質の構造

- 9.5a. 単体、混合物（合金を含む）、化合物、および金属と非金属の違いを特定する
- 9.5b. イオン形成の原理に基づいて金属と非金属元素間のイオン結合の形成を特定する
注：電子の授受による酸化還元の説明あり
- 9.5c. H_2 、 Cl_2 、 H_2O 、 CH_4 、 HCl などの分子における共有電子対による単共有結合の形成を説明する
- 9.5d. イオン性化合物と共有性化合物の揮発性、溶解性、電気伝導性の違いを説明する 注：溶解度の温度変化も扱う
- 9.5e. 元素記号を使用し、一般的な化合物の構造式を記述する
- 9.5f. 一般的な有機分子の例で原子の個数の比から分子式を導出する
- 9.5g. 分子モデルと図から一般的な化合物の式を記述する
- 9.5h. イオンの電荷からイオン性化合物の式を構築する
- 9.5i. グラファイトとダイヤモンドの共有結合と構造に基づいて用途（グラファイトを潤滑剤として、ダイヤモンドをガラス切断に）を説明する
- 9.5j. ダイヤモンドと二酸化ケイ素の類似性をそれらの構造に基づいて説明する
- 9.5k. 金属結晶格子（金属イオン、自由電子）を描写し、金属結合を特定する
- 9.5l. 与えられた化学反応式を記述する 注：元素記号を使った化学反応式を導入、質量保存則や酸化にも言及

9.6 化学エネルギー

- 9.6a. 発熱反応と吸熱反応を特定する
- 9.6b. 燃料（石炭、アルコール、水素など）の燃焼による熱エネルギーの生成を説明する
注：エネルギー図、結合エネルギーと反応熱、活性化エネルギーを扱っている

9.7 酸、塩基、塩

- 9.7a. 金属、塩基、炭酸塩の酸との反応の特性とリトマス試験紙への影響を特定する
- 9.7b. pHに基づいて中性、酸性、塩基性を説明する（整数のみ、万能試験紙使用）
- 9.7c. 酸化物を金属性と非金属性により酸性酸化物と塩基性酸化物に分類する

9.8 空気と水

- 9.8a. 産業用および家庭用水の浄化（濾過、塩素処理）方法を説明する
- 9.8b. 清浄な空気が約79%の窒素、20%の酸素、不活性ガス、水蒸気、二酸化炭素で構成されることを説明する
- 9.8c. 汚染物質の発生源を説明する：
炭素含有物質の燃焼による一酸化炭素、硫黄含有燃料の燃焼による二酸化硫黄（酸性雨の原因）、
自動車排気ガスからの窒素酸化物
- 9.8d. 自動車排気ガスからの窒素酸化物とその触媒による除去方法を説明する
- 9.8e. 化学物質が人間の健康と建造物に与える悪影響を説明する
- 9.8f. 二酸化炭素とメタンを温室効果ガスと呼び、気候変動への影響を説明する
- 9.8g. 二酸化炭素の発生源〔呼吸、化学反応（燃焼、加熱、分解）〕、メタンの発生源（動物の排泄物、植物の分解によるガス）を説明する

9.9 有機化学

- 9.9a. 分子内に4個までの炭素原子を含む非分岐アルカン、アルケン（シス・トランス異性体を除く）、アルコール、酸の構造を描き命名する
- 9.9b. -an、-en、-ol、-酸の語尾と分子構造から化合物の種類を特定する
- 9.9c. 同じ官能基を持つ化合物の同族体系列における性質の変化の傾向を説明する
- 9.9d. 構造異性体を特定する

中学校「物理」（熱物理学）で以下の内容を学習

気体の圧力と温度、固体・液体・気体の熱膨張、気体の圧力・体積の温度依存性の定性的表現、沸点と凝固点、内部エネルギー、熱容量、温度変化を伴わないエネルギー損失、沸騰と蒸発、気化熱、物質の熱伝導と断熱特性、対流

高校「化学」

注：高校「化学」について * は選択科目の内容、内容の細目は主なキーワードのみ抜粋した。

<第10学年>

一般化学

- 10.1. 物質質量（モル）と化学量論 物質質量、アボガドロ定数、化学量論比
- 10.2. 物質の純度を評価する方法
 - 10.2.1. クロマトグラフィー法
 - 10.2.2. 物質の純度（融点、沸点およびクロマトグラムを使用）
- 10.3. 塩の調製と精製方法
 - 10.3.1. 塩の調製と精製方法
可溶性塩の調製、濾過・結晶化・蒸留、*不可溶性塩の調製、*収率と純度の計算、*物質の分子式
 - 10.3.2. 溶液の濃度 気体の質量と体積の計算、溶液の濃度計算、*物質の溶解度の計算
- 10.4. イオンと気体の検出方法 陽イオンおよび陰イオンを定性反応に基づく検出、一般的に使用される気体の検出

物理化学

- 10.5. 反応速度 濃度、表面積、触媒、温度と反応速度、*反応速度の決定、*光と反応速度
- 10.6. 可逆反応 可逆反応、*化学平衡、*ル・シャトリエの原理、ハーバー法によるアンモニア合成
- 10.7. 電気化学 導体と絶縁体、電池、電気分解、金属めっき、*電解生成物の予測、*燃料電池

無機化学

- 10.8. 金属
 - 10.8.1. 金属の特性 金属の物理的・化学的特性、*イオン化傾向
 - 10.8.2. 金属の製錬と利用 金属の精錬、*金属水酸化物・硝酸塩の熱分解
 - 10.8.3. 合金 鋼、*軟鋼と硬鋼、真鍮
- 10.9. 炭酸塩 石灰の製造、石灰岩、生石灰、消石灰の用途
- 10.10. 硫黄 硫黄と二酸化硫黄の用途、硫酸の製造、希硫酸の特性

有機化学

- 10.11. 燃料 石炭、天然ガス、石油、精製方法、バイオ燃料、*シェールオイル、*石炭
- 10.12. 炭化水素 アルカン、アルケン、重合反応
- 10.13. 酸素含有有機化合物 アルコール、カルボン酸、エタノールの酸化による酢酸の生成
- 10.14. 高分子有機化合物 合成・天然高分子、炭水化物、糖の発酵、*タンパク質、*脂質、*石鹼

高校「物理」で以下の内容を学習： 固体、液体、気体の膨張と収縮、物質の集合状態による密度の変化、温度計、摂氏・ケルビン・華氏、熱量、内部エネルギー、温度差、熱容量、比熱、熱平衡、融解潜熱、蒸発と凝縮

<第11学年>

一般化学

- 11.1. 原子、分子、化学量論
 - 11.1.1. 物質質量（モル） アボガドロ定数、物質質量、物質の質量・気体の体積・溶液の濃度の計算
 - 11.1.2. 化学化合物の分子式 相対原子質量、同位体、分子、式量
- 11.2. 原子構造
 - 11.2.1. 原子の特性 陽子、中性子、電子、原子における質量と電荷の分布
 - 11.2.2. 原子の電子構造 電子殻、s・p・d軌道、軌道の形状、原子・イオンの電子構造、イオン化エネルギー
- 11.3. 化学結合
 - 11.3.1. 共有結合、イオン結合、金属結合
共有結合、配位結合、軌道の重なりに基づくσおよびπ結合の形成、*分子の形状（電子対反発モデル）、*電気陰性度、*結合の極性、*結合エネルギー、*反応熱
 - 11.3.2. 分子間力 水素結合、*永久および誘起双極子に基づくファンデルワールス力
- 11.4. 動力学（分子運動）
 - 11.4.1. 気体状態 理想気体の分子運動、分子間相互作用、理想気体の条件、理想気体の状態方程式
 - 11.4.2. 液体状態 沸騰、蒸発、蒸気圧
 - 11.4.3. 固体状態 結晶格子構造、*セラミックス、氷や水などの物性における水素結合の役割

物理化学

- 11.5. 化学エネルギー
発熱反応および吸熱反応、標準生成エンタルピー、燃焼および中和反応の標準エンタルピー、化学結合エネルギー、*反応のエンタルピー変化、*活性化エネルギー、エネルギー順位図、*ヘスの法則
- 11.6. 電気化学 酸化状態の計算、電子の移動による酸化還元反応
- 11.7. 化学平衡

11.7.1. 化学平衡

ル・シャトリエの原理、イオン平衡、ブレンステッド-ロウリー酸-塩基理論、酸・塩基の強弱、解離度、*平衡定数

11.8. 化学反応速度

11.8.1. 化学反応速度、影響する要因

反応速度、活性化エネルギー、触媒、ボルツマン分布、活性化エネルギー、触媒、*触媒のメカニズム、*酵素

無機化学

11.9. 周期律、周期表

11.9.1. 元素の物理的特性の周期的傾向 原子半径、イオン半径、融点、電気伝導性、第一イオン化エネルギーなど

11.9.2. 元素の化学的特性の周期的傾向

11.9.3. II 族の元素とその化合物の周期的傾向と応用

11.9.4. VII 族の元素とその化合物の周期的傾向と応用

11.10. 化学物質の生産と使用 窒素の人工固定、硝酸肥料の環境への影響など

有機化学

11.11. 基本概念

11.11.1. 分子構造、組成、命名法

アルカン、アルケン、ハロゲンアルカン、アルコール、アルデヒド、ケトン、カルボン酸、エステル、アミン、ニトリル、アミド、官能基、フリーラジカル、付加、置換、脱離、加水分解、酸化還元

11.11.2. 有機分子の形状 エタン、エテンなどの分子の形状など

11.11.3. 異性体 構造異性体、幾何異性体（シス、トランス）、*光学異性体

11.12. 炭化水素 アルカン、アルケン、アレシ、*重合、*アルケンの求電子付加反応のメカニズム

11.13. ハロゲン化誘導体 *ハロゲン化アルカンの化学的特性、*求核置換反応のメカニズム (S_N1 、 S_N2) など

11.14. アルコールの特性

11.15. アルデヒドとケトン

11.16. カルボン酸とエステル

高校「物理」の学習内容： ブラウン実験、物質質量、理想気体の状態方程式、分子の熱運動の平均運動エネルギーと絶対温度、理想気体の内部エネルギー、熱伝導、結晶質・非結晶質、結晶のへき開

<第12学年>

物理化学

12.1. 化学エネルギー 結晶格子エネルギー、ボルン-ハーバーサイクル

12.2. 電気化学

12.2.1. 電極電位 標準水素電極、標準電極電位、半反応方程式、電極電位とイオン濃度、様々な電池

12.2.2. 電気分解 電極電位・濃度による電解生成物の予測、ファラデーの電気分解の法則

12.3. 化学平衡

12.3.1. イオン平衡 pH、 K_a 、 pK_a 、 K_w 、指示薬、塩基の pH の計算、酸-塩基滴定中の pH 変化

12.3.2. 緩衝液溶液 緩衝液の仕組みと応用、緩衝液の pH の計算

12.3.3. 不均一平衡 溶解度積、溶解度積における対イオンの影響

12.4. 反応速度論 反応速度式、反応次数、反応速度定数、反応半減期、律速段階、触媒

無機化学

12.5. 周期的傾向 陰イオンの分極能力、カチオンの電荷密度、溶解度の周期的変化など

12.6. 遷移金属の化学

12.6.1. 遷移金属 d 軌道の形、イオンの電子配置、遷移金属が示しうる酸化状態など

12.6.2. 錯体化合物 配位子、錯体、錯体の構造、d 軌道の分裂、錯体が色を持つ理由、錯体の色への配位子の影響

有機化学

12.7. 芳香族炭化水素 芳香族炭化水素の化学的特性、求電子置換反応の機構など

12.8. フェノール フェノールの化学的特性、水・エタノール・フェノールの酸性度など

12.9. カルボン酸誘導体 クロル化エタン酸および炭素酸の酸性度、ポリエステルの生成など

12.10. 窒素含有化合物 アミン、アミド、アミノ酸、タンパク質、タンパク質の構造、酵素

12.11. 高分子 縮合重合反応、高分子の状態と構造、高分子の特性など

12.12. 化学の応用 質量分析、分配係数、クロマトグラフィー、医薬品開発、ナノテクノロジー、環境問題の解決など

高校「物理」の学習内容： 理想気体の分子速度分布、平均自由行程、Clapeyron-Clasius の式、結晶体の対称性、熱輻射、ステファン・ボルツマンの法則、黒体の熱放射スペクトル、ウィーン変位則、光電効果、光の波動と粒子の二重性、水素原子のスペクトル、原子の離散的なエネルギー準位

Analysis of Mongolian Curriculum for Chemistry in Primary and Secondary Education : Through Comparison with Japanese Curriculum

Shuichi Takahara ¹, Myagmar Enkhbat ², and Gantulga Bilegsaikhan ²

(¹ Okayama University of Science and ² Shine Mongol School)

The Mongolian curriculum for chemistry in primary and secondary education was analyzed through a comparison with the Japanese curriculum. As a result, it was found that although science subject start later in Mongolia, in the fourth grade, than in Japan, there is more learning content than in Japan. The Mongolian curriculum introduces particle model from the fourth grade, which reflects the emphasizes the acquisition of particle concepts. On the other hand, it was found that the Japanese curriculum emphasizes the law of conservation of mass in order to make students aware of the conservation of particles, and incorporates contents that takes into account students' misconceptions (naive concepts). Sharing more detailed educational contents, between the two countries, which have very different curricula, will be useful in improving science education in both countries in the future.

Keywords: Mongolia, Primary and Secondary Education, Chemistry, Curriculum Analysis, Comparison with Japan