

地学教育

第63巻 第1号(通巻 第324号)

2010年1月

目 次

原著論文

一酸化炭素の分子輝線を利用した分子雲の質量推定のための教材開発
……………高木知里・土橋一仁・秋里 昂・井上 舞・柏木雄太・西浦慎悟…(1~17)

教育実践論文

酸性河川のリン除去機構を理解するための教育実践……………中野英之・村松容一…(19~29)

特別寄稿

研究論文が世の中に公表されるまで……………松川正樹・林 慶一…(31~34)

本の紹介 (35)

学会記事 (36~43)

お知らせ (44)

日本地学教育学会

263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33 千葉大学教育学部理科教育教室内

開発した教材を理解するために必要な基礎知識について述べる。

2.1 分子雲

分子雲を構成する物質の約99%はガスであり、残りの1%程度はダストである。ガスの主成分は水素分子(H_2)であり、その平均的な密度は $n(H_2)=10^2\sim 10^3\text{ cm}^{-3}$ 程度である。それに次いで多いのは、ヘリウム単原子分子(He)である。 H_2 やHeに次いで多い分子が一酸化炭素分子COであり、水素分子に対して1万分の1程度の存在量($n(CO)/n(H_2)\sim 10^{-4}$)を持つ(例えば、山本, 2008; 小暮, 1994)。また、ごく微量であるが、単純な他の直線分子やアルコール類などの比較的複雑な分子も存在する。

一般に、分子のエネルギーの遷移は、エネルギーが大きい順に電子の遷移、振動遷移、回転遷移があるが、分子雲のような低温の領域(典型的な温度は10 K)では、低い回転遷移しか励起されない。ただし、分子雲の主成分である H_2 は左右対称の分子であるため永久電気双極子モーメントを持たず、10 K程度という低温において電磁波を放射することはできない。一方、COは左右非対称の分子であり、その低い回転遷移は分子雲内の低温でも十分励起され、持続的に輝線スペクトルが放射される。また、COは化学的に安定な分子であり、分子雲の形成初期から終末期にかけてその存在量は比較的安定している。これらの理由により、COの低い回転遷移による分子輝線(ミリ波帯)は、分子雲の基本的な研究手段としてよく用いられている。

2.2 一酸化炭素の分子輝線

一般に、分子の回転遷移による放射は、サブミリ波～ミリ波帯の輝線スペクトルとなる。このような周波数帯の電磁波は、パラボラ型の電波望遠鏡(図2)で検波される。

2原子分子であるCOのエネルギー準位 E_J は、回転量子数 $J(J=0,1,2,3,\dots)$ を用いて、

$$E_J = hBJ(J+1) \quad (1)$$

と表される。ここで h はプランク定数であり、 B は回転定数と呼ばれる定数である。分子がある状態から別の状態に遷移した場合、そのエネルギー差に相当する周波数 f_0 に輝線スペクトルを放射する。この f_0 をその分子の静止周波数という(分子が観測者に対して静止しているときに観測される周波数)。

回転量子数が $J+1$ から J へ変わる場合、そのエネルギー差 ΔE は式(1)から、

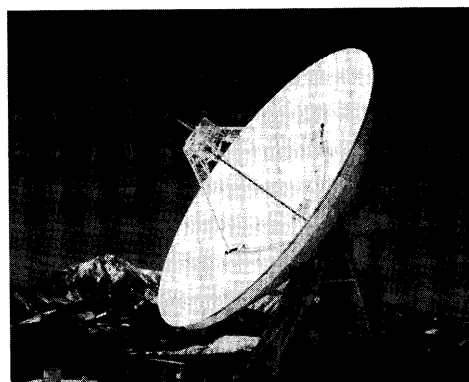


図2 野辺山宇宙電波観測所の45 m電波望遠鏡(写真: 国立天文台提供)

$$\Delta E = 2hB(J+1) \quad (2)$$

となるので、 f_0 は、

$$f_0 = \Delta E/h = 2B(J+1) \quad (3)$$

となる。

$^{12}C^{16}O$ (以下、COという)とその同位体化合物である $^{13}C^{16}O$ (以下、 ^{13}CO という)の $J=1$ から 0 への遷移による値は、それぞれ115.271204 GHzおよび110.201370 GHzである(式(3)で $J=0$ とした場合の周波数)。以後、慣例にならい、これらの分子輝線を $CO(J=1-0)$ および $^{13}CO(J=1-0)$ と表記する。

星間空間は非常に希薄なので、実験室で観測されるような圧力線幅拡大は無視できるほど小さい。よって、分子雲中の分子が観測者に対して静止している場合、分子輝線は静止周波数にピークを持つ鋭い輝線として観測される(図3a)。しかし、分子が観測者に対して運動している場合、ドップラー効果により観測される分子輝線は静止周波数からずれる。観測者に対するガス粒子の視線方向の速度成分(遠ざかる方向を正とする)を V_0 とし、 V_0 は光速 c に比べて十分小さいとすると、その静止周波数からのズレ Δf は、以下の式(4)でよく近似できる。

$$\Delta f/f_0 = -V_0/c \quad (4)$$

現実の分子雲は、われわれ観測者に対して運動しており、また分子雲内部のガスも熱や乱流による速度を持つので、実際に観測される分子輝線は図3bのように広がったものになる。図の横軸は、式(4)を用いて周波数から太陽系近傍の星々の重心を原点とする局所

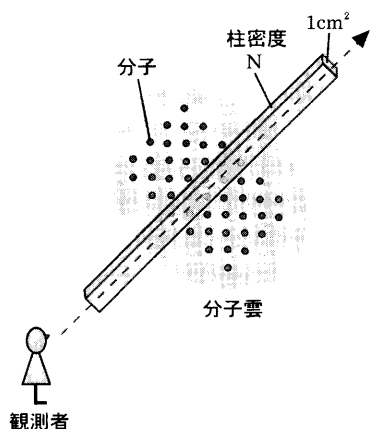


図5 柱密度の概念図。破線の矢印は観測者の視線。単位面積の底面を持つ細長い柱内の分子数を、柱密度という。

吸収の場合、入射光の輝度 T と透過光の輝度 T' は、以下の関係にある。

$$T' = e^{-\tau} T \quad (10)$$

上式の τ のことを、その物質の光学的厚さという。

一方、光学的厚さ τ の物質が発光する場合、十分長い物質 ($\tau \rightarrow \infty$, その物質を無限に長くする, あるいは完全な黒体と考える) が放射する電磁波の輝度を T とすると、有限の τ を持つ物体が発する電磁波の輝度 T' は、 T と

$$T' = (1 - e^{-\tau}) T \quad (11)$$

という関係にある。

式(10)と(11)は、分子雲で観測される輝線スペクトルでも成り立つ。 τ が十分大きい分子輝線の輝度温度は、分子ガスの温度(励起温度)を反映する。すなわち、 $\tau \gg 1$ のとき、式(11)より $T' = T$ となる。また、 τ が十分小さい分子輝線の輝度温度は、 τ に比例する。すなわち、 $\tau \ll 1$ のとき、 $T' = \tau T$ となる。 τ は電磁波の吸収・発光にかかわる光路上の分子の数に比例するので、 τ を求めることにより、光路上にあるその分子の総数を推定することができる。光路上の単位面積当たりの分子の総数を、その分子の柱密度という(単位は個 cm^{-2} , あるいは単に cm^{-2})。柱密度の概念を図5に示す。

第3章で述べるように、一般に、 $\text{CO}(J=1-0)$ 分子輝線の光学的厚さは大きく ($\tau(\text{CO}) \gg 1$)、 $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ 分子輝線のそれは小さい ($\tau(^{13}\text{CO}) \ll 1$)。本研究で紹介

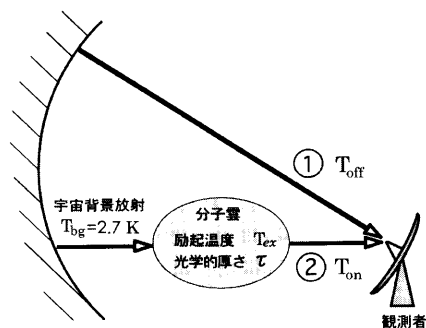


図6 電波望遠鏡を用いた分子輝線の観測方法のイメージ。①は分子雲のない方向、②は分子雲のある方向である。

する教材では、 $\text{CO}(J=1-0)$ のデータよりガスの励起温度を測定し、これを用いて $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ の光学的厚さ $\tau(^{13}\text{CO})$ および ^{13}CO 分子の柱密度 $N(^{13}\text{CO})$ を推定する。

2.5 分子雲の質量の推定

3.5節で説明するように、分子雲の主成分である H_2 分子に対する ^{13}CO 分子の存在比は経験的にわかっているため、 $N(^{13}\text{CO})$ より H_2 分子の柱密度 $N(\text{H}_2)$ を推定することができる。 $N(\text{H}_2)$ の分布が一様な分子雲の場合、その分子雲の質量 M は、

$$M = \mu m S N(\text{H}_2) \quad (12)$$

と表される。ここで、 S は分子雲の断面積、 m は水素原子の質量、 μ は分子雲を構成する粒子の平均分子量である。

3. 一酸化炭素分子輝線の具体的な解析法

この章では、 $\text{CO}(J=1-0)$ および $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ 分子輝線の分光データから分子雲の質量算出までの過程を、前章の基礎理論に沿いながら、六つの段階(3.1～3.6節)に分けて説明する。以下では、分子雲中のガスは局所熱力学平衡(Local Thermodynamic Equilibrium: LTE)に達しているものとし、分子の励起温度や柱密度を観測データから計算する。

3.1 分子輝線の輝度温度

電波望遠鏡で分子雲のない方向(OFF点と呼ぶ。例えば、図6の矢印①の方向)を観測する場合、電波望遠鏡に入射する電波強度 T_{off} は、以下のように表される。

$$T_{\text{off}} = J(T_{\text{bg}}) + T_{\text{sys}} \quad (13)$$

ここで、右辺第1項の $J(T_{\text{bg}})$ は $T_{\text{bg}} = 2.7 \text{ K}$ の宇宙背

$$N(^{13}\text{CO}) = \frac{C_0 \tau(^{13}\text{CO}) \Delta V(^{13}\text{CO}) T_{\text{ex}}}{1 - \exp(-T_0/T_{\text{ex}})} \quad (23)$$

という関係式で結ばれている。この関係式の導出は非常に複雑なので、ここでは省略する。導出の詳細については、他の専門的な教科書（例えば、水野，2009）を参考にさせていただきたい。

式(23)で、 $\Delta V(^{13}\text{CO})$ は観測される $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ 分子輝線の半値幅（単位は km s^{-1} ）である。また、 C_0 は定数であり、永久電気双極子モーメント μ 、回転定数 B を用いて、以下のように表される。

$$C_0 = \frac{3k}{8\mu^2 B \pi^3} \quad (24)$$

表1の下段に、 $^{13}\text{CO}(J=1-0)$ 分子輝線に関する μ 、 T_0 、 C_0 、 B の値をまとめる。これらの値より、式(23)は、

$$N(^{13}\text{CO}) = 2.51 \times 10^{14} \frac{\tau(^{13}\text{CO}) \Delta V(^{13}\text{CO}) T_{\text{ex}}}{1 - \exp(-5.29/T_{\text{ex}})} \text{ cm}^{-2} \quad (25)$$

となる。

3.5 水素分子の柱密度

$N(^{13}\text{CO})$ から水素分子の柱密度 $N(\text{H}_2)$ を推定するには、経験的に求められた $N(^{13}\text{CO})$ と $N(\text{H}_2)$ の比を利用する。Bohlin et al. (1978)は星の紫外線の分光データ中に現れる水素原子と水素分子の吸収線からそれらの柱密度を計算し、その星までの減光量との関係を調べた。さらに、Dickman (1978)は近傍分子雲中でLTEを仮定して求めた $N(^{13}\text{CO})$ と減光量の間関係を調べ、Bohlin et al. (1978)の結果と合わせることで、以下の経験式(26)を導いた。

$$N(\text{H}_2) = 5 \times 10^5 N(^{13}\text{CO}) \quad (26)$$

上式の左辺の $N(\text{H}_2)$ は、水素分子と水素原子をすべて水素分子の数に換算したものである。

この $N(^{13}\text{CO})$ から $N(\text{H}_2)$ への変換式(26)は、近傍の分子雲についてのみ求められた経験式であり、その係数(5×10^5)には50%ものばらつきがある。しかし、ほかの多くの専門的な研究と同様に、本論文でもこの経験式を用いて $N(^{13}\text{CO})$ から $N(\text{H}_2)$ を求めることにする。

3.6 分子雲の断面積と質量

次に、分子雲の質量を推定する。分子雲内で分子が一樣に分布している場合、断面積 S さえわかれば、2.5節で説明したように、その質量 M を簡単に計算することができる〔式(12)〕。しかし、実際の分子雲には密度のむらがあり、分子の柱密度 $N(\text{H}_2)$ は観測方

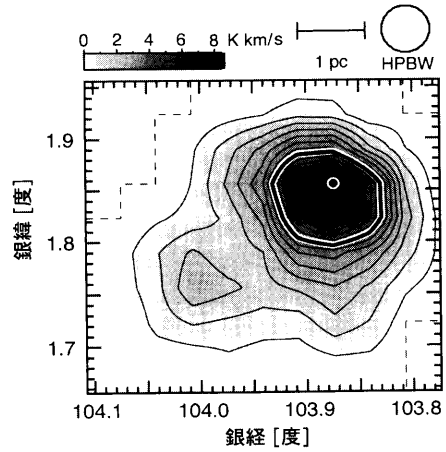


図7 S134領域に位置する分子雲の ^{13}CO 分子輝線の積分強度図。黒点は積分強度が最大となる座標である。細いコンターは等積分強度を表している(0.5 K km/sから0.5 K km/sごと)、太いコンターは、積分強度が最大値の半分になる部分を表す。破線は観測範囲(データのある部分)を表す。望遠鏡の角分解能(HPBW)は $2.7''$ である。

向によって異なる。よって、実際の専門的な研究では観測点ごとに質量を計算し、それを合算して分子雲の総質量を推定する。本研究の目的は学習用の教材開発なので、簡便のために、分子雲内の分子の柱密度の分布を2次元のガウス関数で近似し、総質量を概算することにする。

分子雲の柱密度は、 ^{13}CO 分子輝線の積分強度にほぼ比例しているものとする。図7に示すような ^{13}CO 分子輝線の積分強度図で、積分強度が最大となる観測点(図7の黒丸)での水素分子の柱密度を改めて $N(\text{H}_2)$ とし、積分強度が最大値の半分になるコンター(図7の太い実線)で囲まれる面積を改めて S とすると、式(12)は以下ようになる。

$$M = \mu m S N(\text{H}_2) / \ln 2 \quad (27)$$

本教材では、分子雲中の H_2 分子4個に対して1個の割合でHeが存在するとして、平均分子量 μ を $=2.4$ とする。

学習者が天文学に特有の単位に馴染みの薄い場合、天文単位AU、パーセクpc、および太陽質量 M_{\odot} について、事前に講義しておくといよい。例えば、図7から S を求める際、分子雲の広がりや角度で読み取らせる。分子雲までの距離はpc単位で与えられることが多いので、以下のpcの定義と1AUが 1.5×10^{13} cm

ワークシート1

◇分子雲の質量を実際に計算してみよう。

ワークシート2には分子雲の積分強度が最大となる観測点のCOと ^{13}CO 分子輝線を示した。ワークシート2からガウシアンパラメータを読み取り、 $N(\text{H}_2)$ を求める。また、ワークシート3には分子雲の積分強度図を示した。これを用いて、分子雲の断面積を測定する。これらより分子雲の質量を算出する。

- (1) ワークシート2のCOと ^{13}CO 分子輝線のデータから、輝度温度 $T_R(\text{CO})$ 、 $T_R(^{13}\text{CO})$ と半値幅 $\Delta V(^{13}\text{CO})$ を読み取り、以下の表に記せ。

$T_R(\text{CO})$ [K]	$T_R(^{13}\text{CO})$ [K]	$\Delta V(^{13}\text{CO})$ [km/s]

- (2) 励起温度 T_{ex} ^{ケルビン} を K の単位で求めよ。
- (3) ^{13}CO の光学的厚さ $\tau(^{13}\text{CO})$ を求めよ。
- (4) H_2 の柱密度 $N(\text{H}_2)$ を $\text{個}/\text{cm}^2$ の単位で求めよ。
- (5) ワークシート3の積分強度図で、最大の半値になる分子の分布の広がり S を測定し、 cm^2 の単位で示せ。ただし、分子雲コアまでの距離は 900 pc 、 $1 \text{ AU} = 1.496 \times 10^{13} \text{ cm}$ とする。
- (6) 分子雲の質量 M を太陽質量 (M_\odot) の単位で求めよ。
陽子質量 $m = 1.6735 \times 10^{-24} \text{ g}$ 、平均分子量 $\mu = 2.4$ 、 $1 M_\odot = 1.989 \times 10^{33} \text{ g}$ とする。

図9 ワークシート1

4.2 使用したデータと天体

教材の作成に使用したのは、名古屋大学4m電波望遠鏡(角分解能は $\text{HPBW} = 2.7'$)を用いて90年代に観測されたCOおよび ^{13}CO 分子輝線のデータである

(Dobashi et al., 1994). 本教材で質量を計算する分子雲は、ケフェウス座の方向(銀河座標 $l \sim 104^\circ$, $b \sim 1.8^\circ$)に位置するHII領域S134中の小さな分子雲である。S134までの距離は約900 pcと見積もられている。

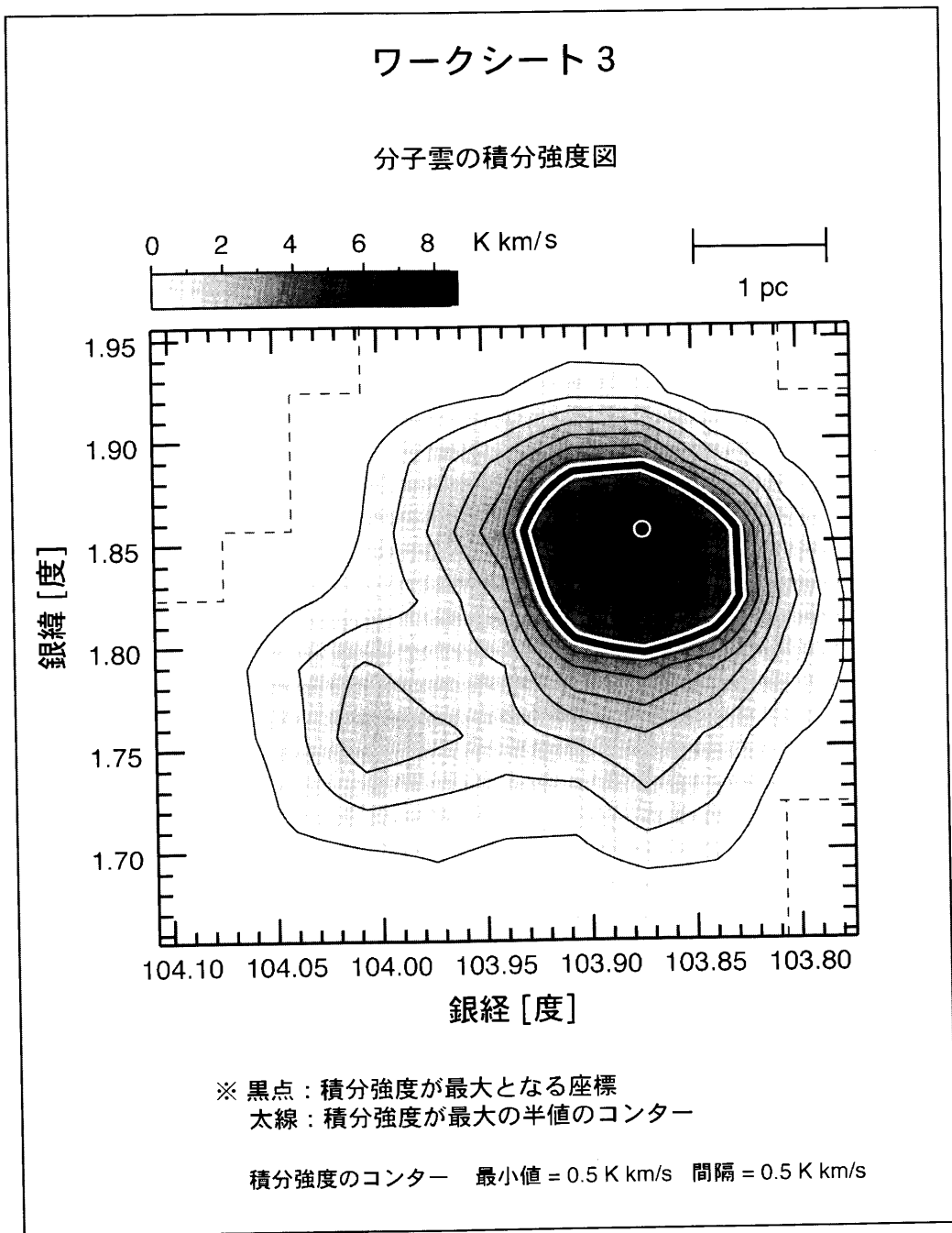


図 11 ワークシート 3

5. 教育実践

5.1 概要

図 9～11 に示した教材を使用して、筆者らが所属す

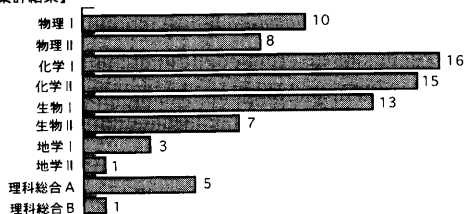
る東京学芸大学の地学実験の授業で、学部 1 年生 17 名に対し教育実践を行った。本教材は、もともと学部 2・3 年生程度の学力を持つ学生に相応しい内容となっているが、本教材を開発した当時（平成 20 年度

表2 事前アンケートとその回答の集計結果

Q1. 高校の理科の授業で履修した科目をすべて丸で囲んでください。

※「物理Ⅰ、物理Ⅱ、化学Ⅰ、化学Ⅱ、生物Ⅰ、生物Ⅱ、地学Ⅰ、地学Ⅱ、理科総合A、理科総合B」の10択

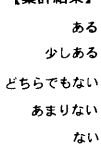
【集計結果】



Q2. 天文学に興味がありますか。また、その理由も教えてください。

※「ある、少しある、どちらでもない、あまりない、ない」の5択

【集計結果】



【回答例】

・・・プラネタリウムを見て、興味を持ったため。幼い頃から天文関係の本を読んでいた。
 ・・・宇宙の成り立ちなどに興味があるから。宇宙の原理などを探ったりできて楽しそうだから。
 ・・・星などには興味があるが物理学も絡んできそうで大変そうだから。
 ・・・スケールが大きすぎるから。
 ・・・計算が大変そうだから。 など

Q3. 天文学ではどのようなことを研究していると思いますか、イメージで構わないので書いてください。

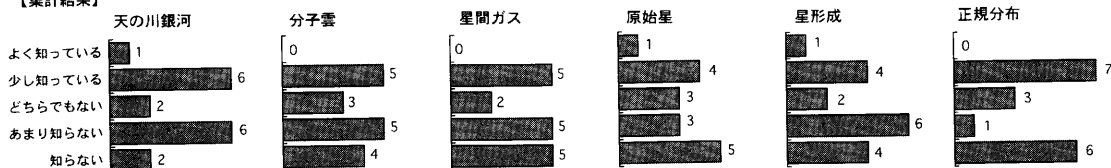
【回答例】

星の質量、距離の測定、星の将来の予測、星の種類や性質、観測、距離の計算
 宇宙の始まり、地球外生命体の発見及びその可能性、宇宙の果ての探索（クエーサーなど） など

Q4. 以下の言葉または事柄についてどの程度知っていますか。天の川銀河、星間ガス、分子雲、星形成、原始星、正規分布

※「よく知っている、少し知っている、どちらでもない、あまり知らない、知らない」の5択

【集計結果】



※ Q1の履修科目の選択では、「基礎理科」を選択肢に入れていない

れに沿って説明した後、本教材を用いた演習を行う、という手順をとった。また、事前・事後にアンケートを取り、学生の天文学に対する興味の変化などを調べた。以下に授業実践の①導入、②展開1、③展開2、④まとめの各ねらいと補足説明を記す。

①導入 (30分)

分子雲の特徴と分子分光観測の概要について把握させる。

②展開1

図8のフローチャートを用いて、分子雲の質量算出までの計算過程を理解させる。

③展開2

本教材を用いて学生に分子雲の質量を計算させ、観

測データから物理量をどのように推定するのかを実体験として理解させる。実際にワークシートを用いて演習を行う。

④まとめ

得られた結果を受講生同士で確認しつつ、計算方法などがわからない学生に対して補足説明を行う。

5.2 事前アンケート

主に学生の天文学に対する興味・関心の変化を事前と事後で比較するため、「事前アンケート」を行った。授業開始直後に行った事前アンケート内容とその集計結果を、表2にまとめる。Q2の質問について、天文学に対する興味がある・少しあると答えた学生は12名であり、学生の半分以上であった。また、興味がない

表4 事後アンケートとその回答の集計結果

Q1. 分子雲質量の算出方法は分かりましたか。また、分かりやすかった内容、逆に分かりにくかった内容を1つずつ教えてください。	
【集計結果】	【回答例】
「わかった」 2	分かりやすかった内容： 分子雲の説明、 フローチャートがよかった 分かりにくかった内容： 面積の求め方（7名）、 単位がよくわからなかった など
「少しわかった」 8	
「どちらでもなかった」 4	
「あまりわからなかった」 1	
「わからなかった」 0	
Q2. 天文学に対する興味は実験前後で変わりましたか。また、変わったところを教えてください。	
【集計結果】	【回答例】
「興味があった」 2	・・・ 電卓を使っての授業ははじめてだったが、計算の“苦”がなくなり、考えることに集中できたから。
「少し興味があった」 4	・・・ 実際の測定値からこのようにして分子雲など、宇宙空間の物体のもの大きさ、質量などがわかるのかと思い興味があった。
「変わらなかった」 7	・・・ 分子雲について知ることができ、天文学でどのようなことを扱っているのか少しわかった。
「あまり興味はわからなかった」 2	・・・ 大雑把なのだと気付いたところ。
「興味はわからなかった」 0	など
Q3. 今回の地学実験は面白かったですか。理由も教えてください。	
【集計結果】	【回答例】
「面白かった」 3	・・・ 演習形式で問題を解きながら進めていたのでやりがいがあった。
「少し面白かった」 4	・・・ 地学は履修していなかったが、分子雲の内容などちゃんと理解できたから。 計算が楽しかった。
「どちらでもなかった」 7	・・・ 分子雲について知ることが出来良かったけれど、計算の意味がよくわからなかった。
「あまり面白くなかった」 1	・・・ 計算ばかりで興味がわかない。
「面白くなかった」 0	など
Q4. 今回の地学実験の難易度を教えてください。理由も教えてください。	
【集計結果】	【回答例】
「簡単だった」 0	・・・ 演習自体はプリントを見ながらだと、そこまで難しくは感じなかった。 ・・・ 計算が複雑でした。あまり納得できないまま演習になってしまった。 ・・・ 分子雲の断面積の求め方がよくわからなかった。 など
「少し簡単だった」 1	
「普通だった」 3	
「少し難しかった」 9	
「難しかった」 2	
Q5. 今回の地学実験の感想（気づいた点や改善すべき点、質問など）をお願いします。	
【回答例】	
普段はしない内容なので面白かった。 天文学ではどのようなことをしているのかがわかってよかったです。 もう少し身近なものに的を絞って今日やってみたかった。 など	

分解能を考えると、設問(6)の解答の有効数字は1桁かせいぜい2桁である。他の設問に関しても、有効数字を考慮していない解答が数人に見られたため、有効数字についても説明のときに取扱うと良いことがわかった。

5.4 事後アンケートと教材の評価

事後アンケートでは、天文学に対する興味・関心の変化と演習内容に関する内容を質問した。事後アンケートの内容とその集計結果を、表4にまとめる。集計した人数は、早退した学生などを除いた、15名である。

Q1の分子雲質量の算出方法の理解については、「少しわかった」と解答した学生が8名であり、最も多かった。わかりやすかった理由として学生が挙げたのは、質量算出までの過程をフローチャートで示したこ

とで分子雲の質量算出のイメージがしやすくなった、などである。計算過程が複雑であるため、計算式を整理したのが理解のしやすさにつながったものと考えられる。

わかりにくかった内容として学生7名が挙げたのは「分子雲の広がり求め方」である。また、「角度がなぜ距離になるのかがわからない」などの意見も挙げられた。そのため、事前に角度と距離の関係について説明する必要があることがわかった。

Q2の天文学に対する興味の変化については、「変わらなかった」と答えた学生が最も多かったものの、半数近くの学生が「少し興味があった」・「興味があった」と感じた。「あまり興味はわからなかった」とする学生も2名いた。その理由を見ると、有効数字について取り上げなかったため計算結果が大雑把で精度の低い

宙の観測 II—電波天文学」, 日本評論社, 東京, 70-77.
 濤崎智佳・久野成夫・樋口あや・梅本智文・高野秀路・
 澤田剛士 (2009): 学部教育のための電波天文学実習用
 教材の開発. 地学教育, **62**, 9-20.
 山本 智 (2008): 3.3 分子雲の化学組成. 福井康雄・犬塚
 修一郎・大西利和・中井直正・舞原俊憲・水野 亮

(編), シリーズ現代の天文学第 6 巻「星間物質と星形
 成」, 日本評論社, 東京, 49-51.
 Yang, J. (1990): A study of molecular clouds and star
 formation in the Cepheus-Cassiopeia region. 博士論
 文 (名古屋大学), 2-16 (TABLES 2-3).

高木知里・土橋一仁・秋里 昂・井上 舞・柏木雄太・西浦慎悟: 一酸化炭素の分子輝線を利用した分子雲
 の質量推定のための教材開発 地学教育 63 巻 1 号, 1-17, 2010

〔キーワード〕 分子雲, 天文教育, 一酸化炭素, 電波天文学

〔要旨〕 筆者らは, ミリ波帯の分子分光データを用いた学部教育のための分子雲の教材を開発した. この教
 材は, ケフェウス座の小さな分子雲に対して得られた一酸化炭素分子 ($^{12}\text{C}^{16}\text{O}$) およびその同位体化合物
 ($^{13}\text{C}^{16}\text{O}$) の回転遷移 $J=1-0$ による輝線スペクトルを利用している. 輝線のパラメータ (輝度, 線幅, 速
 度) や分子雲の広がりを実験で測定し, 測定値から電卓で分子雲の質量を計算できるよう教材を単純化す
 ることで, 専用の計算機や複雑なソフトウェアを一切用いずに, 学部の授業で手軽に利用できる教材とし
 て完成させることができた. 開発した教材の実用性を確かめるため, 学部 1 年生 17 名を対象に教育実践
 を行った. その結果, 本教材を用いる際には, 分子雲の質量を計算するまでの過程をフローチャートで解
 説すると, より高い教育効果が得られることがわかった.

Chisato TAKAGI, Kazuhito DOBASHI, Ko AKISATO, Mai INOUE, Yuta KASHIWAGI and Shingo
 NISHIURA: Teaching Material to Estimate the Molecular Cloud Mass Using the CO Emission
 Lines. *Education of Earth Science*, **63**(1), 1-17, 2010

酸性河川のリン除去機構を理解するための教育実践

Educational Programs for Understanding Phosphorus Removal
by Flocculation Produced in an Acidic River

中野英之*・村松容一**

Hideyuki NAKANO and Yoichi MURAMATSU

Abstract: An experimental teaching program that relates water pollution with education of Earth Science was developed. This program encourages students to think about the mechanism of phosphorus removal by flocculation in reservoirs along the Lake Inawashiro. In the program, the water quality of a river near the student's school was investigated, and simulation experiments of phosphorus removal by flocculation in the reservoirs were performed. It was found that 90-100% of phosphorus in the phosphoric acid solution could be removed by the flocculation process. This program was effective in helping students understand the mechanism of phosphorus removal by flocculation in reservoirs along the Lake Inawashiro and the importance of water quality conservation.

Key words: Lake Inawashiro, acidic river, phosphorous, flocculation, chemical weathering, senior high school

1. はじめに

水質汚濁, 環境ホルモン, ダイオキシン, 土壌汚染などの環境問題が注目されるなか, 環境教育の重要性が増してきている。日本では, 1991~1992年に文部省から『環境教育指導資料』が刊行され, 本格的な環境教育の実現が目指されることになった。1999年には, 中央環境審議会は, 今後の環境教育のあり方として「環境のための教育」から「持続可能な社会のための教育」への方向転換を打ち出し, 2003年には「環境の保全のための意欲の増進及び環境教育の推進に関する法律」が公布された。

日本のこれまでの環境教育の問題点の一つは, 大高(2008)が指摘するように, 環境教育が多様な環境問題の中の非常に限定されたテーマしか扱われない傾向があり, 小学校から高等学校まで, 水, 空気, ゴミを扱うことがほとんどであったという点である。例えば,

水を扱った環境教育では, 市販のパックテストを用いて身近な河川や湖沼の水質調査が行われることが多いが, テーマの多様性や系統性の欠如といった課題が指摘されている(大高, 2008)。また, 河川や湖沼の水質をきちんと理解するためには, 単に水質調査をするだけでなく, 水質に影響を及ぼす社会的な背景や河川や湖沼の地学的な特徴, 河川や生物・化学的な自然浄化作用などにも目を向けなければならない。渡邊(2008)が主張するように, 環境教育を広義にとらえ, 他の教科・領域との有機的な関連を図っていくことが必然的に重要となる。

もう一つの問題点は, 「身近な河川の水質汚染調査」などの例に見られるように, 児童・生徒の生活圏に限定されたテーマを扱うが多かったという点である。水の環境問題を児童・生徒の生活圏を超えた規模で考えると, 地盤沈下や酸性雨, 地球温暖化に伴う海面上昇や水河・永久凍土の融解など, 関心の対象やそ

* 京都教育大学教育学部 ** 東京理科大学大学院科学教育研究科
2009年7月13日受付 2010年1月18日受理

で何らかの自然浄化機構が働いているためと推測されてきた。これまで自然浄化機構の解明のための多くの研究が行われており、最近になって猪苗代湖内でのリンの除去機構が明らかにされた(藤田・中村, 2007a, b)。

猪苗代湖内でのリンの除去機構は次のように理解されている(図2)。①酸川上流の河床の岩石が硫酸酸性水による化学的風化作用を受けて Fe^{3+} , Al^{3+} , Ca^{2+} などの金属イオンが溶出する。②酸川への流入河川の影響でpHが徐々に上昇し、金属イオンと水酸化物イオンが結合することにより、 $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ などの橙色の金属水化物(これらをまとめて凝集塊またはフロックという)が形成される。③形成された凝集塊が猪苗代湖に流入すると $\text{PO}_4^{3-} + \text{Fe}(\text{OH})_3 \rightarrow \text{FePO}_4 + 3\text{OH}^-$ などの反応が起き、凝集塊がリン酸態リンを吸着する。④リン酸態リンを吸着した凝集塊が湖底に堆積し、湖水のリン濃度が低い状態に保たれる(藤田・中村, 2007a, b)。凝集塊は長瀬川の上流にも堆積しているのが水中カメラによる観測からも確認されている(渡邊, 2008)。

本教育実践では、身近な水環境の実態を理解するた

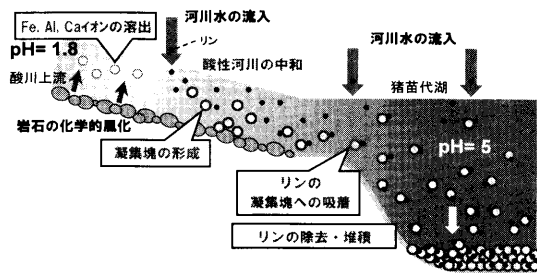


図2 猪苗代湖水系におけるリン除去機構



図3 長瀬川中に堆積している凝集塊

めに、まず学校周辺の河川の水質調査を行う。水質調査では、試水の採取方法やバックテストを用いた試水の分析方法など水質調査の手法を学び、身近な河川の汚染状況を把握する。次に、学校周辺での河川の汚染状況と猪苗代湖水系の汚染状況の比較を行い、猪苗代湖水系における水質浄化機構の再現実験を行う。ここでは、酸性水による岩石の化学的風化、凝集塊の形成、凝集塊へのリンの吸着の過程と水質浄化機構を、再現実験を通して学習する。再現実験を通して、生徒の生活圏では見られない、水の自然浄化機構を知ることが目的とする。

2. 実験方法

(1) 水質調査

新方川は東京湾に注ぐ荒川の支流の一つであり、獨協埼玉中学高等学校の北西約2kmの水田地帯に端を発する河川である。本教育実践では、獨協埼玉中学高等学校周辺を流れる新方川の6地点(上流から下流に向かってN6~N1)を調査対象とした(図4)。河川の周辺環境はN6~N3までは民家が点在する水田地帯でN2, N1は市街地である。周辺の水田や市街地からは排水溝を通して水田や市街地から排水が流れ込んでいる(図4)。また、本教育実践では、獨協埼玉中学高等学校内の地下水(D1: 井戸深度50m)、校内にあるコンクリート製の池(D2)とビオトープ(D3)の水も調査対象とした。池(D2)の水の供給源は地下水(D1)である。ビオトープ(D3)の水の大部分は雨水由来であるが、地下水(D1)も導水し、ビオトープに供給している。

新方川は護岸工事が行われており、河床に降ることができないため、手酌で水を採取することは不可能である。また、水深が浅いことから、ロープをつないだバケツを放り投げて水を採取することも困難なため、図5のようなチリトリを改造した採水器を作製した。チリトリの下面裏には錘が取り付けられており、着水時に必ずこの面から水に沈むようになっている。ロープはチリトリの下面の開口部に取り付けられており、ロープを引き上げると開口部から上に持ち上げられるため、確実に水が採水できるようになっている。1回の採水で約1.7Lの試水を採取できる。ロープに目盛りをふれば水深を測定することも可能である。N1~N6地点では橋の上から河川水を採水する。試水は250mLのポリ容器に保存する。測定項目は水温、水素イオン濃度、リン酸態リン、硝酸態窒素、アンモ

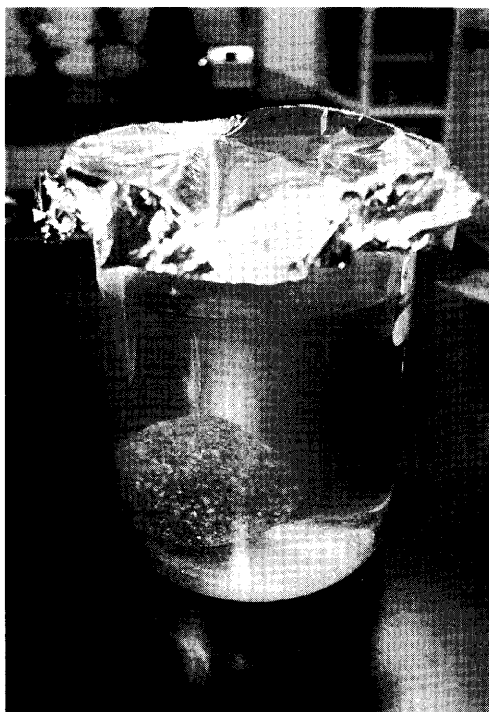


図6 硫酸水溶液に入れた岩石

ウム)の含有量をパックテストで調べ、化学的風化作用により硫酸水溶液に金属イオンが溶けていることを確認する。

次に、酸性河川に河川水が流入してpHが上昇して凝集塊が形成される過程を再現する。硫酸水溶液を50 mL ビーカーに採り、ガラス棒でかき混ぜながら1 mol/LのNaOH水溶液を数滴滴下し、水溶液の様子を観察させる。凝集塊が形成されるまでこの操作を繰り返す。

(3) 凝集塊のリン吸着実験

上記と同様の方法で硫酸水溶液にpHが5になるまでNaOH水溶液を滴下してあらかじめ作製しておいた凝集塊を用いてリン吸着実験を行う。リン酸二水素カリウムをイオン交換水に溶かし、約2 mg/Lの濃度になるように調整する。このリン酸水溶液を300 mL ビーカー2個(A, B)にそれぞれ200 mLずつ採り分ける。Aにはピペットで採取した凝集塊40 mLを、Bにはイオン交換水40 mLをそれぞれ加え、ガラス棒で攪拌したのち、1時間放置をする。その後、パックテストを用いてリンの濃度を測定し、リンの除去率を求める。

リンの除去率は近似的に次式で算出した。

$$\text{リンの除去率(\%)} = [(a-b)/a] \times 100 \quad (1)$$

a はリン酸水溶液中のリン濃度、 b は凝集塊添加後のリン酸水溶液中のリン濃度を示す。

生徒が作製する凝集塊を使用しないのは次の理由による。凝集塊のリン吸着能力はpH=5程度が最大とされている(黒澤ほか, 2004)が、上記の生徒実験では、必要以上にNaOHを滴下することにより、凝集塊が入っている水溶液がアルカリ性となることが予想される。この場合、凝集塊をリン酸水溶液に加えると、アルカリ性になってしまう可能性が高く、凝集塊にリンが吸着しにくくなると考えられるためである。

なお、水環境中に存在するリンは、栄養塩としてのリン酸態リン、溶存有機態リン、懸濁物中に含まれる懸濁態リンの三つに大分され、富栄養化項目としてはリン酸態リンと上記3態の総和である全リンが特に重要視される(宮島, 2007)。全リンの分析は、酸分解とオートクレープ下での試水の前処理を行う必要があり、分析方法が複雑になることから、本実践ではリン酸態リンの挙動のみに着目していることから、本実践ではリンの分析項目の中で、リン酸態リンの分析のみを行った。

3. 教育実践

(1) 教育実践

筆者の一人、中野の前勤務校、獨協埼玉高等学校に在籍する高校2年生対象の地学I(2単位)履修者14名を対象に、「風化」の単元で本教育実践を行った(表1)。教育実践は、2008年10月23日～11月7日までの3日間であり、実践に要した時間は計6時間であった。生徒2～3人を1班として六つのグループに分け、実験・実習を行った。

(水質調査)

10月23日に試水を採取した(図7a, 表1)。各班が1～2カ所の採水地点を担当し、それぞれの担当箇所での試水の採水から翌週に行う分析まで行った。

事前指導として、作製した採水器の使い方、採水容器の共洗いの必要性和方法、pHメーターを用いた水温とpHの測定方法を指導した。約1時間をかけて試水をポリビンに採取した後、教室内で水温やpHのデータの整理を行った。パックテストを用いた水質調査は、通常は採水直後に行うのが一般的であるが本教育実践では、試水を冷蔵保存して1週間後の10月30日に分析を行った(図7b)。これは、本教育実践では

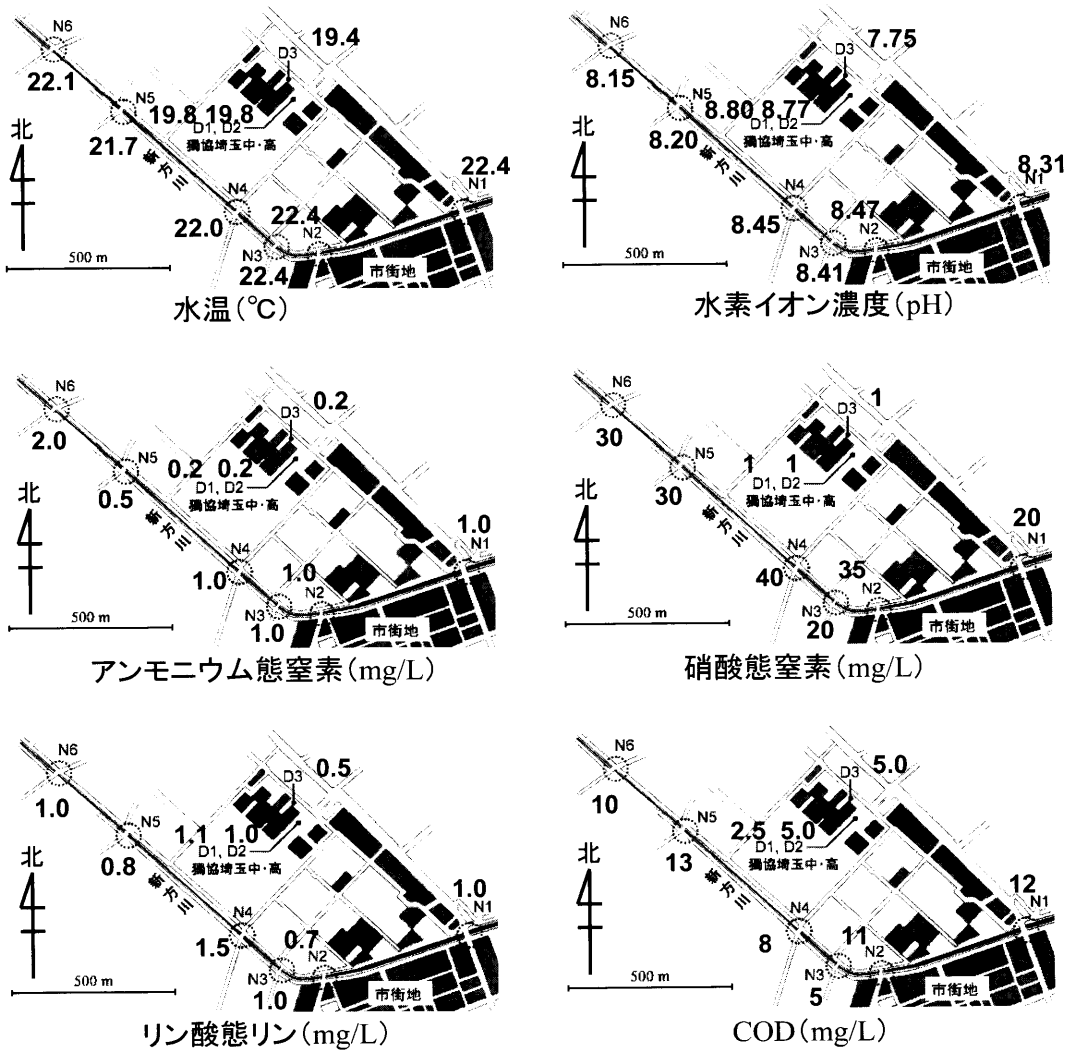


図8 水質調査の結果

の説明を行った。また、バックテストを用いた測定は試水を採水した直後に行わなければならないことが本来は原則であることも指導事項として付け加えた。

(凝集塊形成実験)

10月30日に凝集塊の形成実験を行った。まず事前指導として、酸性川での凝集塊形成過程についての説明をパワーポイントを用いて解説した。硫酸水溶液のFe、Ca含有量を測定した後に凝集塊形成実験を行った。

(凝集塊へのリン吸着実験)

11月7日に凝集塊へのリン吸着実験を行った。実験方法を説明した後に実験を開始した。ビーカーを放

置している間に、猪苗代湖の水質の特徴（このあたりの河川に比べてリンの濃度が著しく低いこと）と、凝集塊がリンを吸着するメカニズムについて解説を行った。放置時間経過後リン酸の含有量を測定し、リンの除去率を求めた。

(2) 結果と考察

(水質調査)

水質調査の結果を図8に示す。なお、測定精度は水温が±0.5℃、pHはプラス±0.01であり、pHメーターはメトラートレド社製の標準液を用いて適宜校正を行っている。バックテストの精度は±20%である (http://kyoritsu-lab.co.jp/support/qapack/qa_

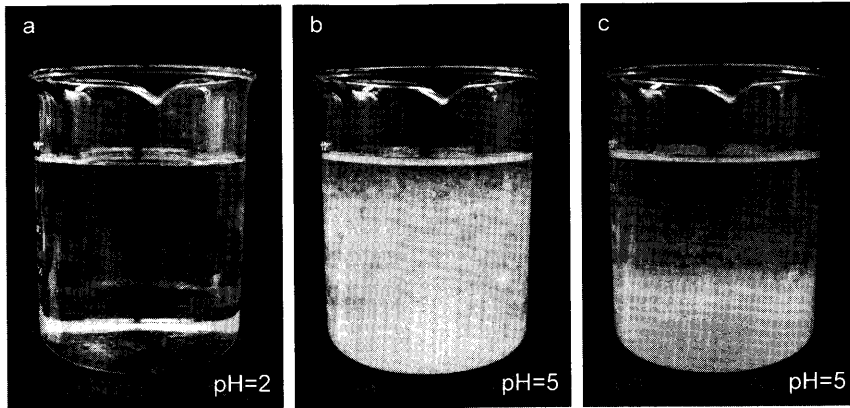


図9 凝集塊形成実験の様子

a: 酸性水溶液 b: 水酸化ナトリウム水溶液を酸性水溶液に滴下した直後の様子. c: 水酸化ナトリウム水溶液滴下後3分経過後の様子.

表2 凝集塊へのリン酸の吸着実験の結果

	1班	2班	3班	4班	5班	6班
2 mg/Lリン酸水溶液のリン酸濃度(mg/L) …a	2.0	1.5	2.0	2.0	2.0	1.5
aの水溶液 200 mLにイオン交換水40 mLを入れたときのリン酸濃度(mg/L)	2.0	1.5	2.0	2.0	2.0	1.4
aの水溶液 200 mLに凝集塊40 mLを入れたときのリン酸濃度(mg/L) …b	0.05	0.2	0.05	0.05	0.05	0.1
リン除去率 (%) … $[(a-b)/a] \times 100$	100	90	100	100	100	90

表3 教育実践後の生徒の感想

- フロックが汚れを吸着するということが不思議でおもしろかった.
- フロックの浄化効果に驚いた. 人の手で作れるのだから水質汚染の進んだ湖にまいて経過を調べるといいと思う.
- 猪苗代湖は青くてきれいに見えたが, 湖底にはオレンジ色の凝集塊が沈んでいるとは想像もできなかった.
- こうやって実験をすると水質問題が身近に感じられる. 自分らが大人になる頃はどうかっているのか. 自分は何をすべきなのか.
- フロックは可愛く感じた. リン酸を吸着してくれるというこの自然現象を大切にすることも過度の自然に反したことがないようにしていきたい.

(3) 生徒の反応と評価

水質調査の結果は後日, レポートにして提出させた. チリトリを改造して作製した採水器は軽く, 使いやすかったようで, 橋の上から失敗なく試水を採水することができた. 生徒は, 身近な河川の汚染状況を理解し, 新方川が思った以上に汚れていたことに驚いていた生徒が多く見られた. レポートでの考察では, 高い硝酸態窒素やアンモニア態窒素の値と, 水田への窒素肥料の施肥や生活排水との関連性について論じたも

のが多く見られた. ビオトープでリン酸の濃度が低かったことから, 植物の存在と水質の浄化機構についての関連に気づいた生徒もいた. 川を汚さないことの重要性や, 生物調査の立場から今後水質調査を行ってみたいと書いてある例も見られた.

硫酸水溶液に水酸化ナトリウム水溶液を滴下して凝集塊が形成される過程を, 生徒が非常に不思議そうに観察している様子が印象的であった. リンの吸着実験後に行ったアンケートでは, 「猪苗代湖の中で, 実験で

参考文献

- 千葉 茂 (1984): 猪苗代湖への流入河川の水質. 野口英世記念館学報, **6**(3), 2-4.
- 千葉 茂 (2000): ふくしまの水を調べたら. 歴史春秋社, 福島, 78-92.
- 藤田 豊・中村玄正 (2007a): 猪苗代湖の水質保全に寄与する酸性河川長瀬川の凝集塊によるリン除去効果. 水環境学会誌, **30**(4), 197-203.
- 藤田 豊・中村玄正 (2007b): 猪苗代湖のリン除去に寄与する酸性河川長瀬川の凝集塊生成機構. 水環境学会誌, **30**(4), 205-212.
- 福島県生活環境部環境保全領域水環境グループ (2008): 猪苗代湖の水環境の現状と将来予測. 清らかな湖, 美しい猪苗代湖の秘密を探る水環境研究誌, 1-14.
- 林 慶一 (2007): 地学的なものの見方を科学者と国民が共有する地学教育. 日本地学教育学会第 61 回全国大会予稿集, 202-203.
- 石山 高・八戸昭一・佐坂公規・長森正尚・高橋基之 (2007): 電気化学的手法による地下水中ヒ素の恩サイト化学形態別分析法の開発. 埼玉県環境科学国際センター報, **8**, 149.
- 黒澤幸二・高橋幸彦・藤田 豊・中村玄正 (2003): 猪苗代湖及び周辺水域の水質保全に関する研究. 日本大学工学部紀要, **45**(1), 19-26.
- 黒澤幸二・伊藤淳一・高橋幸彦・藤田 豊・中村玄正 (2004): 酸性河川のリン除去機構. 日本大学工学部紀要, **45**(2), 9-17.
- 宮島利宏 (2007): 富栄養化項目, 社団法人日本化学会 (編), 第 5 版実験化学講座 20-2—環境化学—, 丸善, 東京, 282.
- 文部省 (2002): 高等学校学習指導要領解説, 173.
- 大高 泉 (2008): ESD としての環境教育と理科におけるその意義と課題. 理科の教育, **672**, 8-11.
- 岡内完治 (2008): 新版バックテストで環境調べ. 合同出版, 東京, 146-147.
- 鈴木美恵子 (1991): 猪苗代湖のリン沈降過程に関する考察. 用水と廃水, **33**(5), 3-8.
- 渡邊 彰 (2008): 4 年生「江川と大在干潟の物知り博士になろう」. 理科の教育, **672**, 12-15.
- 渡邊 稔 (2008): 猪苗代湖内のフロック分布状況等調査. 清らかな湖, 美しい猪苗代湖の秘密を探る水環境研究誌, 161-168.

中野英之・村松容一: 酸性河川のリン除去機構を理解するための教育実践 地学教育 63 巻 1 号, 19-29, 2010

〔キーワード〕 猪苗代湖, 酸性河川, リン, 凝集塊, 化学的風化作用, 高等学校理科

〔要旨〕 水環境教育と地学教育を関連づけ, 猪苗代湖水系における酸性河川のリン除去機構を理解するための一連の学習指導を行った. 本教育実践では, 身近な河川の水質を調査するとともに, 生徒の生活圏から離れた猪苗代湖水系における水質浄化機構: 1) 猪苗代湖水系における酸性河川による岩石の化学的風化, 2) 化学的風化により岩石から河川に溶出した金属イオンから凝集塊が形成される過程, 3) 凝集塊へのリンの吸着を理解するための再現実験を行った. 本教育実践により, 猪苗代湖水系におけるリン除去機構や水質保全の重要性について理解を深めることができた.

Hideyuki NAKANO and Yoichi MURAMATSU: Educational Programs for Understanding Phosphorus Removal by Flocculation Produced in an Acidic River. *Education of Earth Science*, **63**(1), 19-29, 2010

研究論文が世の中に公表されるまで

松川正樹*・林 慶一**

はじめに

文明は、科学を含む人類の文化が世代を超えて継承・蓄積されることで成り立っている。なかでも、研究に従事する人は、新しい発見、アイデア、方法の開発などを、文章、作品、口頭発表などの方法により公表してこの務めを全うしようと努力している。特に、研究の論文は、研究の成果を文章として表現したものであるため、証拠となるデータや資料を提示し、論旨を明瞭に示す必要がある。

近年の研究分野の多様化、細分化に加えて成果主義の影響もあり、新たな学術雑誌が次々と出版されている。しかし、研究成果を文章で表現したものを出版する精神は、いずれの雑誌でも同じである。ただし、研究成果のカテゴリーの分類やそれらの評価に関しては、雑誌ごとの独自性が認められる。

私たちは、長らく日本地学教育学会学会誌「地学教育」(以下「地学教育」として表現する)の編集に携わってきた。この間、「地学教育」から発表される研究成果のカテゴリーの分類についても多くの編集委員とともに議論し、整理してきた。これは、近年の成果主義が「地学教育」にも及んでおり、「地学教育」が社会的要望に応える必要があったためである。これまで、これらの事情、「地学教育」の研究成果のカテゴリーの分類やそれらの評価に関して編集委員会以外の会員に対しては説明したことはなかった。そこで、この場を借りてこれらについて述べたい。

1. 「研究論文」とは

広辞苑(第6版)によると、論文とは、「論議する文。理議を論じきわめる文。論策を記した文」、「研究の業績や結果を書き記した文。例えば「卒業論文」「学位論文」と記述されている。このように論文ではある問題について論じるので、ほかの文章に比べて論理性が尊ばれる。そのため、論文の構成は、起承転結の原

則に従うことが求められる。また、論文の論理は、証拠となるデータや資料の質と量により、その確かさが増すことになる。

「地学教育」は、地学教育に関する研究論文を掲載する学術雑誌である。そのため、雑誌に掲載される研究論文は、起承転結の原則に従う文章で構成され、論を進めるうえで証拠となるデータや資料が提示されている必要がある。

多くの学会が研究発表会を開催しており、本学会でも毎夏に全国大会を開催している。ほとんどの研究発表会では、講演予稿集が出版される。これは聴衆に発表者の口頭発表の理解を促すために出版するものである。証拠となるデータや資料の提示が原則となっていないのが特徴である。最近、これらを研究論文のカテゴリーに入れて研究業績書にリストされることが見られるようになってきたが、特に、大学の人事でその取り扱いでもめることが多い。これは、成果主義の典型的な産物と言えよう。

2. 研究論文の種類

研究論文は、いくつかのカテゴリーに分類されている。それらは、以下である。

- 原著(論説)(Original article)論文: 独創的(オリジナリティーがある)な研究論文で、内容の主要な部分が学術論文としてほかに印刷公表されていないもの。
- 総説(Review)論文: ある分野の論文や学説などを総括、解説、あるいは紹介して論じるもの。対象分野の顕著な事象・現象(例えば: 地震・噴火など)、重要な地域、対象物、研究上の方法や技術などに関する。
- 短報(Short article): 速報性を要する新事実などの簡単な報告(研究では独創性が求められるので、新事実の発見時にはその独創性を保持するためによくこのカテゴリーでも原著論文の形式が用

利用できる権利としての著作権を得ることができる。これは、著作物の複製、上演、演奏、放送、口述、展示、翻訳などを含む。したがって、研究論文では、著作権を遵守する義務があり、他人の著作物（論文、本など）を引用する際には、明記しなければならない。なお、学術雑誌に掲載された論文などの著作権に関しては、雑誌を出版した学会や出版社に帰属する場合が多い。「地学教育」についても、当学会に帰属するものとしている。

「引用の無視」という現象を最近よく目にする。これは、先行論文の存在を無視することである。先行論文の存在を無視するから、著作権には抵触しない。しかし、学問的には、十分な先行研究の調査を怠っていたことの証であり、著者の研究に対する注意不足を露呈するものである。さらに、故意の「引用の無視」の行為は、自身の進める研究に対して都合の悪いものは、検討せずに排除することを意味する。したがって、そのような研究論文は、データや資料を含め論文全体が懐疑的であると言わざるをえない。科学研究は、新たな発見やアイデアが基軸となるので、先行研究の「引用の無視」の研究論文は科学研究を著したものであることを意味する。

(1) 主要な雑誌とは：

主要な雑誌とは、日本学術会議に所属する学会や大きな出版社が出版する学術雑誌を指す。日本地学教育学会も日本学術会議に所属する学会であるので、「地学教育」は主要な雑誌として評価されている。主要な雑誌は、学問レベルの高さ（研究内容と議論の確かさ）が保証されている。それは、投稿論文の審査制度を機能させて、出版する論文の信頼性を高めることに努めているからである。そのため、審査（査読）制度は、著者の独りよがり、誤りをチェックし、レベルを維持している。

投稿された論文は、研究の独創性や論理性が確かな内容で学術誌に掲載するか否かについての審査（査読）が行われる。この査読で、その投稿論文は出版するのに値する内容があると判定された後に印刷、出版される。

- 国際誌（一般的に外国の出版社が出版）：世界的に評価の高いレベルにある研究者が査読者になっているので、出版された論文は高い評価が得られる。また、引用がされやすい。投稿論文に引用が漏れていると指摘を受けやすい。公表した論文の引用が無視されにくい。最近の成果主義から、研

究論文を Impact factor（文献引用影響率）を用いて評価する傾向にある。これは、研究論文が掲載された学術雑誌の評価を示すものである。

- 国内誌（一般的には学会が出版）：国内の研究者のレベルで査読が行われる。そのレベルは、必ずしも国際的ではない。公表した研究論文が国際的に無視されやすくなる。
- 大学・博物館・研究所の研究紀要：一般的には査読制度はない。査読制度があるとする雑誌でも誰が（どのレベルの人か）査読をしたのかが問題となる。成果主義に利用されやすい。

(2) 査読をする人は誰か：

投稿された研究論文の内容をよく理解して、より高い見識をもった審査できるトップクラスの複数の研究者が当たる。この査読により、投稿された研究論文が評価される。

査読する人のレベルがその雑誌のレベルを決めることになる。査読制度のある雑誌でもおかしな内容の研究論文が掲載された雑誌は評価を下げることになる。

5. 編集委員会

すべての雑誌は、編集委員会組織を機能させて、投稿原稿の受付、審査（査読）、掲載の可否の判断、出版する。この過程では、編集委員会は、査読者による審査、著者からのそれに対する回答、投稿規定などを判断して論文の掲載の可否を判断する。したがって、査読者からの意見に対する著者からの回答は最も重要である。編集委員会は、中立な立場に立ち判断するので、著者は査読者からの意見、指摘事項や疑問などに対して、一つひとつ丁寧に文書で答えなければならない。これを怠ると、編集委員会が判断できなくなり、著者にとり芳しい方向には向かわないことになる。

6. まとめ

論文と称するものには、さまざまなレベルのものが存在する。そのレベルを推し量る基準があり、それを機能させることによりレベルの高い論文が出版される。

高いレベルの雑誌から研究論文を出版すれば、高いレベルの評価も得られ、論文の引用や著作権も守られることを意味する。

「地学教育」は、日本での唯一の地学教育に関する学術雑誌である。編集委員会組織をもち、査読制度を機能させて、よりレベルの高い研究論文の出版に努めて

本の紹介

「本州地向斜，忘却の地質学史」，原 郁夫著，A5 判，86 頁，2009 年 8 月 31 日初版，(株)ニシキプリント (非売品)

現在の高校地学の教科書に，“地向斜”という言葉はない。かつて，地向斜は日本列島の地質構造を理解する最も重要な科学概念の一つであったが，何時ごろ，どのように消えたのか？ 本書は，地学教育者にとってきわめて興味深いこの問題に解答を与えてくれる本である。

プレート・テクトニクスの考え方の普及に大きな影響を与えた著書は，1970 年代に出版された上田誠也氏の「新しい地球観」である。1970 年代には，陸域を研究する地質学者の間でその受容の可否について，激しい論争が行われた。2008 年に出版された「地域地質学の方法論—小島学派，一つの回想—」の続編として執筆された本書は，この時代の論争を地質学者の哲学的背景にまで切り込んで考察した著作である。

本書は二つの論文で構成されている。第 1 節「本州地向斜，忘却の地質学史」では，本州地向斜の概念が“付加体”というプレート・テクトニクスの概念に取って代わられた 1970 年代から 1980 年代の経緯を，第 2 節「都城秋穂先生の変成帯調査法に関する若干の考察」では，この問題にかかわった代表的地質学者である都城氏の理論を科学哲学的視点から考察している。

第 1 節では，本州地向斜の概念が消えていった“忘却の過程”がテーマである。本書の特徴は，問題を A と B に分けて考察したことである。

問題 A: 大陸と海洋との関係としてのプレート・テクトニクスの問題 (主に地球物理学の問題)

問題 B: 日本列島に帯状に配列した堆積体が，どのような場で，どのようにして形成されたのかという問題 (地域地質学の問題)

本節を貫く基本的な問題は，「問題 A に関して提唱されたプレート・テクトニクスは，問題 B においてはどのような地質学研究をもたらしたのか？」ということである。

問題 B にかかわる主要な文献を読み直す作業を通して，1970 年代初頭においては，堀越氏と Ernst 氏の論文からは本州地向斜の言葉が消えているが，都城氏や市川氏らには，堆積の場としての本州地向斜の概念がまだ残っていたと，著者は指摘している。

問題 B から地向斜の概念が消滅するのは 1980 年

代はじめのことである。それは，日本列島の地向斜とされた領域の形成をプレート運動と対応させて理解できる“付加体”の概念の成立によっている。海域に接した四万十帯で成立したこの概念を，最初に問題 B に取り入れたのは勘米良 (1980) である。しかし，彼は模式的な地質断面図を描いて解釈したにすぎず，問題 B の領域を付加体の概念で説明する地質学的根拠を最初に提示したのは，二組の地層群ナップを記載した石賀 (1983) であると，著者は考えている。問題 B が科学的根拠をもって付加体の概念で説明できるようになる直前には，プレート・テクトニクスによる解釈論的研究が流行していたが，当時の地質学の状況を，「氾濫する仮説」や「仮説提唱型地質学」と表現して，地質学研究の方法論に虚構性が現れたことを厳しく指摘している。地質学的研究の本質や方法論にかかわるこの主張こそ，本書に託した著者の思いである。

第 2 節 (64~82 頁) は，都城秋穂氏の変成帯研究を科学哲学的に考察した論文である。2008 年の著書で第 1 部とすれば，本節はその第 3 部に相当する。

都城氏は「変成相系列」の概念と「対をなす変成帯」を提唱した著名な地質学者である。個々の変成帯は一つの固有の変成相系列によって規定されるとする都城の理論は，「変成岩は最高温度時相の変成鉱物を保持する」という仮定のもとで成立するものであった。

筆者は，仮説 (理論) に導かれて行う都城氏のような理論負荷型の観察を「観察 III」として，地質学者に共通した理論に依存した記載的な観察 (観察 II) と区別している。そして，都城氏の変成相系列の理論がもつ矛盾は，観察 II によって明らかになった科学的事実を無視したためであると説明している。

地質学には観察 II の成果を土台として，より高次の概念を求めていく観察 (観察 IV) がある。小島丈児氏が 1940 年代末に提唱し，著者らによって引き継がれた変成帯研究は，時間とともに変化する複雑なプロセスを追跡 (観察 IV) し，これに対応したテクトニクスをとらえる研究であった。“忘却の地質学史”は，変成帯研究の分野においても存在しているのである。

本書は非売品です。入手をご希望の方は，下記の宛先にはがきで直接申し込めば，無料で送っていただくことができます。

〒733-0816

広島市西区己斐大迫 3 丁目 5-18

原 郁夫 宛

(山口大学教育学部 池田幸夫)

平成 21 年度全国地学教育研究大会
日本地学教育学会第 63 回全国大会

三重大会報告

三重大会実行委員長代行 荻原 彰

I. はじめに

平成 21 年 8 月 22 日から 23 日にかけて、日本地学教育学会第 63 回全国大会を三重県津市で開催しました。大学生、高校生を含め、全国から約 140 名の方に参加いただきました。感謝申し上げます。

本大会では「地学教育と新学習指導要領」をテーマとして掲げました。小中高等学校の新指導要領が出揃い、教育委員会や学校の対応が始まっています。今大会が、新指導要領とそれを活かした地学教育の理念・内容・手法について議論を深める場、今後の地学教育のあるべき姿についての合意形成の場となることを願ってこのテーマを設定しました。

今大会の準備に当たっては、日本地学教育学会事務局から多くの情報・御支援をいただきました。また開催にあたり、共催いただきました三重大学、三重県小学校理科教育振興会、三重県中学校理科教育研究会、三重県高等学校理科教育研究会、後援いただきました文部科学省、三重県教育委員会、津市教育委員会等の諸団体に感謝し、御礼申し上げます。

II. 大会概要

大会テーマ 地学教育と新学習指導要領

期日 平成 21 年 8 月 22 日（土）～23 日（火）

会場 三重大学

主催 日本地学教育学会

共催 三重県小学校理科教育振興会、三重県中学校理科教育研究会、三重県高等学校理科教育研究会、三重大学

後援 三重県教育委員会、津市教育委員会、三重県立博物館、文部科学省、全国高等学校長協会、全日本中学校長会、全国連合小学校長会、日本私立中学高等学校連合会、日本教育研究連合会、日本理科教育学会、日本理科教育協会 名古屋地学会

1. 日程

8 月 22 日（土）

時間	プログラム
8:30	受付
9:30	開会行事
10:00	シンポジウム
12:00	昼食・休憩
13:15	記念講演
14:45	休憩
15:15	ジュニアセッション
16:45	ポスターセッションコアタイム
18:00	懇親会

8 月 23 日（日）

時間	プログラム
8:30	受付
9:00	研究発表 1
10:20	休憩
10:35	研究発表 2
12:00	昼食・休憩
13:15	研究発表 3
14:35	休憩
14:50	研究発表 4
16:10	休憩

2. 大会一日目 開会式・表彰式開会式

司会（津村善博）

開式宣言（白井靖敏）

学会会長挨拶（牧野泰彦）

実行委員長挨拶（荻原 彰）

歓迎の挨拶（三重大学教育学部長 上垣 渉）

歓迎の挨拶（三重県教育委員会学校教育分野総括室長
松坂浩史）

学術奨励賞の授与

- 校 高3) 川口幸輝 (三重県立津高等学校
高2)
- B-S02 平成19・20年度第7期グローブ指定校活動報告
○片岡史奈, ○間瀬 咲 (愛知教育大学附属高等学校 GLOBE 生徒委員会 高3)
- B-S03 ペットボトルできれいな宝石? を見つけよう—高校生が小中学生に教えられる身近な鉱物の抽出と観察法の研究—
○中村仁希, ○本田瑛士 (愛知教育大学附属高等学校理科課題研究 ペットボトル重鉱物班 高3)
- B-S04 身近な石からすごい!? 化石を見つけよう—高校生が小中学生に教えられる身近な微化石の抽出法の研究—
○近藤敬宏, ○柴田 壘, ○竹内 誠,
○中山託矢, ○松井 隆 (愛知教育大学附属高等学校理科課題研究 チャート礫の微化石班 高3)
- B-S05 飲み水はきれいか? 自分で調べよう—高校生が小中学生に教えられる飲料水の水質の調べ方の研究—
○岩崎聡美, ○岩田彩友美, ○菊地香帆,
○小池美穂, ○山口明恵, ○笠原 惇 (愛知教育大学附属高等学校理科課題研究 飲み水の水質班 高2)
- B-S06 生物進化のモト! DNA を取り出そう—高校生が小中学生に教えられる核酸や生体構成物質の抽出法の研究—
○石川さゆり, ○海老名美里, ○岡田彩花,
○河村真未, ○北岡典子, ○樹神杏菜,
○平田智子 (愛知教育大学附属高等学校理科課題研究 DNA 研究班 高3)
- 8月23日 研究発表1 (9:00~10:20)
- C会場 (教育学部 302教室) 「高等学校I」
座長: 茂庭隆彦 (岩手県立総合教育センター)
- C-H01 東京大学木曾観測所におけるパブリックアウトリーチ活動
三戸 洋之 (東京大学理学系研究科天文学教育研究センター木曾観測所)
- C-H02 太陽黒点の温度を推定する教材の開発と検討—Fits 画像をもとにして—
○荒川忠彦 (滋賀県立膳所高等学校)
- 山村秀人 (滋賀県立長浜北星高等学校)
洞口俊博 (国立科学博物館)
矢治健太郎 (立教大学)
Paofits WG
- C-H03 化石化作用の実験教材の開発と教員による評価
林 慶一 (甲南大学理工学部)
- C-H04 酸性河川のリン除去機構を理解するための教材開発
○中野英之 (京都教育大学教育学部)
村松容一 (東京理科大学大学院理学研究科)
- D会場 (教育学部 303教室) 「中学校I」
座長: 五島政一 (国立教育政策研究所)
- D-J01 天文分野における小・中学生の空間概念の形成
岡田大爾 (広島国際学院大学)
- D-J02 「天体」の学習における視点変更モデルによる立体的な空間の把握
○平松良夫 (岡山県総社市立総社西中学校)
野瀬重人 (岡山理科大学理学部応用物理学科)
- D-J03 示温シールを用いた球状モデルの開発とその授業実践
○伊藤 孝, 佐々木 達 (茨城大学教育学部)
安斎 寛 (茨城大学教育学部附属中学校)
- D-J04 博物館と学校との連携による天文教育の進め方
伊藤達郎 (四日市市立博物館)
- E会場 (教育学部 304教室) 「大学・一般I」
座長: 先山 徹 (兵庫県立大学)
- E-A01 天文台公開イベント参加者の関心と期待〜特に参加回数との関連について〜
○林 武広 (広島大学・教育)
松本敏史 (広島大附東雲小)
大杉 節, 川端弘治, 植村 誠 (広島大学・宇宙科学センター)
- E-A02 縮尺模型で学ぶ宇宙ローカル・グループ模型の実践例
茨木孝雄 (杉並区立科学館)
- E-A03 古木曾川の河床堆積物

D会場（教育学部 303 教室）「中学校 III」

座長：池田幸夫（山口大学）

D-J09 理科におけるパターンの把握を重視した環境学習のあり方について

○下野 洋，坂上寛一（星槎大学），高橋修（東京学芸大学），山田茂樹（飛騨教育事務所）

D-J10 「パターン把握」を用いた野外観察で，科学的な思考力，表現力を育成する指導～中学校理科「地球と宇宙」での一実践を通して～

山田茂樹（岐阜県教育委員会飛騨教育事務所），環境学習研究会（星槎大学）

D-J11 Web 情報を利用した気象教材の開発

○古富健一，林 武広，匹田 篤，山崎博史（広島大学）

D-J12 西日本の梅雨メソ降水系の特徴に関するレーダーアメダス合成図を活用した中学生への授業実践研究

○西川泰永，大嶋直己，蔵田美希（岡山大学教育学部理科教室）藤本義博（倉敷市立西中学校），入江 泉，加藤内蔵進（岡山大学大学院教育学研究科・理科）

E会場（教育学部 304 教室）「高等学校 II」

座長：細山光也（愛知教育大学付属高等学校）

E-H05 地形図学習を取り入れた扇状地形成実験

○中野英之（京都教育大学教育学部）村松容一（東京理科大学大学院理学研究科）

E-H06 新学習指導要領に向けた教材開発の必要性—高等学校「地学基礎」を中心に—三次徳二（大分大学教育福祉科学部）

E-H07 神奈川県立高等学校における地学の復興—新タイプ校での地学教育の可能性を中心に—

小尾 靖（神奈川県立相武台高等学校）

E-H08 グーテンベルクはなぜ間違えたのか？

—地球物理学史研究から学ぶこと—山田俊弘（千葉県立幕張総合高等学校）

研究発表 4（14：50～16：10）**C会場（教育学部 302 教室）「小学校 III」**

座長：山下浩之（福岡市立南片江小学校）

C-E09 理科における土教材開発の視点
秦 明德（島根大学教育学部）C-E10 「地学っておもしろい」～サイエンスショーで伝える地学のおもしろさ・不思議さ～
境 智洋（北海道教育大学）

C-E11 身近な川原の石を使った科学教室プログラムの開発—「安倍川の石のふしぎ」の実践—

○坂田尚子（常葉学園大学），高橋照枝（静岡市立城山中学校）

C-E12 理科を得意とする小学校教員の養成

○野瀬重人（岡山理科大学理学部），皿田琢司（岡山理科大学理学部）

D会場（教育学部 303 教室）「中学校 IV・高等学校 III」

座長：吉富健一（広島大学）

D-H09 世界遺産，ジオパークと高校地学

○美澤綾子（静岡県立静岡高等学校）藤岡達也（上越教育大学）

D-H10 強制振動による潮汐現象の説明

○酒井啓雄（山口県宇部市立楠中学校），古川 浩（元山口大学教育学部）池田幸夫（山口大学教育学部）

D-H11 韓国気象庁北半球 500 hPa 高層天気図画像の教材化
岡本義雄（大阪教育大学附属高校天王寺校舎）D-J13 星を手に取り確かめる星学習 50 年の歩みから昼間，教室で実験観察，実習を体感理解の星学習，小 4，中 3 の星学習への提案
山田幹夫（香川県政策部政策課委嘱サイエンスボランティア）**E会場（教育学部 304 教室）「大学・一般 III」**

座長：三次徳二（大分大学教育福祉科学部）

E-A09 2008 年岩手・宮城内陸地震によって現れた地表地震断層

茂庭隆彦（岩手県立総合教育センター）

E-A10 小 5 で学習する「西から東への天気変化」の気象学的背景に関する教育学部生への講義

加藤内蔵進（岡山大学大学院教育学研究

となりました。理科教育全体としては充実の方向ではあると考えることができます。しかし多くの生徒が地学分野を共通に履修していた理科総合Bがなくなったことにより、地学を学ぶか学ばないかは生徒の選択、実質的には各学校の選択に任されることになりました。地学を開設してもらおうべく各高校の現場の地学の先生方に努力していただくこと、学会としてそれを支援することはもちろんですが、高校の地学教員が著しく減少している現在、残念ながら地学教育関係者の自助努力だけでは限界があることも認めざるをえません。学会として機会をとらえて文部科学省や教育委員会等、教育行政からの政策的でこ入れを求めていきたいと考えます。以上の背景のもとに、私たちは次のことに重点をおいて活動を展開することを宣言いたします。

- 1 今回の学習指導要領の趣旨を活かし、観察・実験や野外学習の一層の充実を図ること
- 2 教材の開発・提供等の活動を通して、教育現場への支援を積極的に行っていくこと
- 3 高等学校の地学に関しては、地学教員への支援

を行うとともに、教育行政への働きかけも強めていくこと

V. 実行委員

委員長

故本田 裕 三重大学

事務局長（実行委員長代行）

荻原 彰 三重大学

泉 勝人 伊勢市立沼木中学校

伊藤信成 三重大学

鶴山義晃 三重県立桑名高等学校

奥田光升 三重県立津高等学校

倉田彰久 四日市市立笹川中学校

三枝義久 三重県立四日市南高等学校

庄司勝信 有限会社エイグ

白井靖敏 名古屋女子大学

杉澤 学 奈良女子大学附属小学校

津村善博 三重県立博物館

林田守生 松阪市立有馬野小学校

平賀伸夫 三重大学

編集委員会より

雑誌の発行が遅れている状態が続いております。投稿数はやや改善傾向にあります。しかし、投稿原稿の完成度が低いため、査読をクリアして掲載に至ることができできないケースがあります。今号に寄稿されております「研究論文が世の中に公表されるまで」は、これから研究論文を書こうとされている方にとって参考になる内容になっております。是非ともご一読いただき、論文執筆の一助としてください。

地 学 教 育 第 63 卷 第 1 号

平成 22 年 1 月 25 日印刷

平成 22 年 1 月 30 日発行

編 集 兼 日 本 地 学 教 育 学 会
発 行 者 代 表 牧 野 泰 彦

〒263-8522

千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33

千葉大学教育学部理科教育教室内

電話 & FAX 043-290-3682 (濱田)

振替口座 00100-2-74684

印 刷 所 株式会社 国際文献印刷社

169-0075 東京都新宿区高田馬場 3-8-8

電話 03-3362-9741~4

EDUCATION OF EARTH SCIENCE

VOL. 63, NO. 1

JANUARY, 2010

CONTENTS

Original Article

- Teaching Material to Estimate the Molecular Cloud Mass Using the CO Emission
LinesChisato TAKAGI, Kazuhito DOBASHI, Ko AKISATO,
Mai INOUE, Yuta KASHIWAGI and Shingo NISHIURA... 1~17

Practical Article

- Educational Programs for Understanding Phosphorus Removal by Flocculation
Produced in an Acidic RiverHideyuki NAKANO and Yoichi MURAMATSU... 19~29

Special Contribution

- Development, Production, and Publication of a Scientific Paper
.....Masaki MATSUKAWA and Keiichi HAYASHI... 31~34

Book Review (35)

Proceeding of the Society (36~43)

Information (44)

All communications relating this Journal should be addressed to the
JAPAN SOCIETY OF EARTH SCIENCE EDUCATION

c/o Faculty of Education, Chiba University; Chiba-shi 263-8522, Japan

編集委員会より

雑誌の発行が遅れている状態が続いております。投稿数はやや改善傾向にあります。しかし、投稿原稿の完成度が低いため、査読をクリアして掲載に至ることができないケースがあります。今号に寄稿されております「研究論文が世の中に公表されるまで」は、これから研究論文を書こうとされている方にとって参考になる内容となっております。是非ともご一読いただき、論文執筆の一助としてください。

地学教育 第63巻 第1号

平成 22 年 1 月 25 日印刷

平成 22 年 1 月 30 日発行

編集兼発行者 日本地学教育学会
代表 牧野泰彦

〒263-8522

千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33

千葉大学教育学部理科教育教室内

電話 & FAX 043-290-3682 (濱田)

振替口座 00100-2-74684

印刷所 株式会社 国際文献印刷社

169-0075 東京都新宿区高田馬場 3-8-8

電話 03-3362-9741~4