

Title	主体的・対話的で深い学びを具現化する視点に関する研究： 積雲高度測定実験における理科授業デザインの実践
Sub Title	The practice study focused on the investigational activity process in science lessons : the experience of measuring the height of cumulus cloud
Author	竹田, 大樹(Takeda, Hiroki) 鈴木, 一成(Suzuki, Issei)
Publisher	慶應義塾大学日吉紀要刊行委員会
Publication year	2020
Jtitle	慶應義塾大学日吉紀要. 自然科学 (The Hiyoshi review of natural science). No.67 (2020. 3) ,p.17- 33
JaLC DOI	
Abstract	In science lessons, teachers aim to construct learner's scientific concepts from meaningful experiences and discussions. According to Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology's curriculum guidelines, teachers need to realize the Proactive, Interactive, and Deep Learning in Japan. We have a great deal of interest in the feasibility of this learning. In this study, we focused on the learning with Investigational Activity Process in high school's geoscience classes. In practice, we tried to examine the possibility of the instructional design for science lessons about measuring the height of Cumulus Cloud by using Performance Assessment. Students worked positively and actively to measure its height from both observation and theory experiences. We analyzed the student's portfolios and discussions. As a result, this study revealed that instructors's designs of science lessons which incorporate learner's Investigational Activity Process, will realize a constructive relationship with the Proactive, Interactive, and Deep Learning.
Notes	原著論文
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=AN10079809-20200331-0017

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

主体的・対話的で深い学びを具現化する視点に関する研究
——積雲高度測定実験における理科授業デザインの実践——

竹田大樹*・鈴木一成**

The Practice Study Focused on the Investigational Activity Process in
Science Lessons: The Experience of Measuring the Height of Cumulus Cloud

Hiroki TAKEDA and Issey SUZUKI

Summary—In science lessons, teachers aim to construct learner’s scientific concepts from meaningful experiences and discussions. According to Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology’s curriculum guidelines, teachers need to realize the Proactive, Interactive, and Deep Learning in Japan. We have a great deal of interest in the feasibility of this learning. In this study, we focused on the learning with Investigational Activity Process in high school’s geoscience classes.

In practice, we tried to examine the possibility of the instructional design for science lessons about measuring the height of Cumulus Cloud by using Performance Assessment. Students worked positively and actively to measure its height from both observation and theory experiences.

We analyzed the student’s portfolios and discussions. As a result, this study revealed that instructors’s designs of science lessons which incorporate learner’s Investigational Activity Process, will realize a constructive relationship with the Proactive, Interactive, and Deep Learning.

Key Words: Proactive, Interactive, and Deep Learning, Investigational Activity Process, Instructional Design for Science Lessons

* 慶應義塾湘南藤沢中等部・高等部 (〒252-0816 神奈川県藤沢市遠藤 5466) : Keio Shonan Fujisawa Junior & Senior High School, 5466 Endo, Fujisawa, Kanagawa 252-0816, Japan. E-mail: thiroki@sfc-js.keio.ac.jp

** 東洋大学 (〒112-8606 東京都文京区白山 5-28-20) : Toyo University, 5-28-20 Hakusan, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8606, Japan. E-mail: suzuki116@toyo.jp [Received Sep. 28, 2019]

1. 問題の所在

新しい高等学校学習指導要領（平成 30 年度公示）では、**主体的・対話的で深い学び**の実現を図るべく、理科においては、見方・考え方をはたらかせながら**探究の過程**を踏襲した学びが求められている（文部科学省，2018）。したがって、各学校や各教師が、カリキュラムや地域の特性に適応しながらも、**主体的な学び**、**対話的な学び**、**深い学び**の本質を捉え直し、理科の見方・考え方をはたらかせながら授業を改善していくことが必要と考えられる。

主体的・対話的で深い学びに関する先行研究では、『理科授業デザイン』と**主体的・対話的で深い学び**の位置付けについて、同一の方向性であることがすでに示されている（鈴木，2019）。さらに、『理科授業デザイン』（『問題把握的学習（第1象限）』、『分析的学習（第2象限）』、『共通感覚的学習（第3象限）』、『知識活用的学習（第4象限）』）は、問題解決的学習を基軸としており、**探究の過程**を踏まえているものと捉えることができ、**探究の過程**の学習には、**主体的な学び**、**対話的な学び**、**深い学び**が随時適合し、その結果「科学的に探究する力」の育成に寄与していることが理論的に明らかにされた。

上記までの観点から、教師は『理科授業デザイン』の問題解決的学習の枠組みを援用することで、**主体的・対話的で深い学び**を具現化することが示唆された。しかしながら、**探究の過程**を踏まえた**主体的・対話的で深い学び**を継続的に実現していくためには、授業実践の分析を通じた、さらなる知見の蓄積が必要である。

本研究では、鈴木（2019）や竹田・鈴木（2017）に基づいて、高等学校地学の積雲高度を題材とした実験を行い、実際の授業実践を試みた。具体的には、実証的に分析し、実践の視点を精緻化した。本稿において、教師が学習環境をどのように整備しているのかの観点を精査し、生徒の作成したポートフォリオを分析することで、**主体的・対話的で深い学び**の実現について検討した。

2. 『理科授業デザイン』を構成している基本的な考え方

2-1 探究の過程

平成 30 年度（2018 年度）公示の高等学校学習指導要領理科編において、**探究の過程**は以下の内容を含んでいる。

- ・ **課題の把握（発見）**：様々な事物・現象から問題を見いだし、解決可能な課題を設定する。
- ・ **課題の探究（追究）**：仮説を設定し、検証計画を立案し見通しをもって観察、実験を行い、結果を適切に処理する。
- ・ **課題の解決**：観察、実験などの結果を分析して解釈するとともに、考察が設定した課題と対応しているかなど、**探究の過程**を振り返る。

さらに、**探究の過程**においては、学習したことを振り返って新たな問題を見いだすなど、単

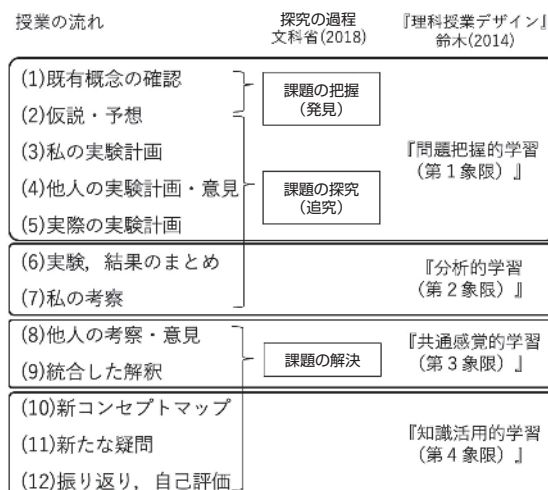


図1. 授業の流れ(1)～(12)を、項目別に「探究の過程」と『理科授業デザイン』に対応させた関係図

左列が授業の流れ、中央列が学習指導要領における「探究の過程」、右列が『理科授業デザイン(第1象限～第4象限)』。「(1) 既有概念の確認」と「(2) 仮説・予想」は、「探究の過程」では「課題の把握(発見)」に対応し、『理科授業デザイン』では『問題把握的学習(第1象限)』に含まれていることを意味している。

元内容や時間のまとまりの中で、主体的に学習の見通しを立てたり、振り返ったりする場面を計画的に取り入れるように工夫することが示されている。上記のような探究の過程を具現化するには、『理科授業デザイン』を用いることが有効で、鈴木(2019)では、個別の過程について、『理科授業デザイン』と照らし合わせたそれぞれの学びの具現化と効果について理論的な側面から報告がなされた。

図1は、探究の過程と『理科授業デザイン』の授業の流れとの対応関係である。課題の把握(発見)は、本実践の授業の流れ(1) 既有概念の確認と(2) 仮説・予想に該当しており、課題の探究(追究)は(3) 私の実験計画～(7) 私の考察に該当している。さらに、課題の解決は(8) 他人の考察・意見～(12) 振り返り, 自己評価に該当している。つまり、『理科授業デザイン』は探究の過程を内包した授業の枠組みと捉えられる。探究の過程と『理科授業デザイン』は同じ問題解決的な学習の過程であるが、以後、本研究においては『理科授業デザイン』の象限を用いて論を進めることとする。

2-2 主体的・対話的で深い学び

主体的・対話的で深い学びは、主体的な学び、対話的な学び、深い学びのそれぞれの学びがスパイラル的に絡み合いながら実現されることが示されている(文部科学省, 2018)。したがって、それぞれの学びがどのようなものなのかを精査し、実現ができたかどうかをどのように判断していくかを検討する必要がある。以下では、これらの学びの実現に関するクライテリア

について検討する。

まず、学習指導要領（平成30年度公示）では、主体的な学びについて、学ぶことに興味や関心、見通しを持って取り組むとともに、自らの学習をまとめ振り返り、次の学習につなげ自らの学習状況やキャリア形成を見通したり振り返ったりすることができているかという観点が必要であるとしている。

さらに、主体的な学びの観点においては、田村（2018）が傾聴に値する。主体的な学びの要素の構造的な理解について、田村（2018）では以下のように述べている。

- ・課題の設定：生徒にとってどのような学習課題を設定すれば、生活概念に沿った文脈の学びが生まれるかの視点に立つ。
- ・学習の見通し：解決に向けたプロセスイメージとゴールイメージを明確に持つことである。
- ・学習活動の振り返り：学習内容を確認する振り返り、現在や過去の学習内容と関係づけたり一般化したりする振り返り、学習内容を自らと繋げて自己変容を自覚化する振り返りに大別される。

これらをまとめると、理科における主体的な学びとは、生徒が学習課題に対して目的意識を持って、既有概念や生活概念を整理し、知っていることを用いて仮説を立て、実験計画を立案することに相当すると捉えられる。また、主体的な学びに必要な学習の見通しについては、ルーブリックを把握し、どのようなパフォーマンスが求められていて、最終的な目的を達成できているかを生徒自身でコントロールできているかが鍵となると考えられる。そこで、本研究においては、主体的な学びが実現されたクライテリアを、「仮説・予想を持ち実験計画を立案し、学習を進める上では見通しを持ち、まとめでは学習活動の振り返りができているか」とする。

次に、対話的な学びについて考えたい。田村（2018）は、学習活動における内外との対話の価値として、以下の三つを挙げている。

- ・他者への説明による情報としての知識や技能の構造化：学習者が身につけた知識や技能を使って相手に説明し話すことで、つながりのある構造化された知識や情報へと変容していく。
- ・他者からの多様な情報収集：多様な情報が他者から供給されることにより、構造化がより一層質的に高まる。
- ・他者とともに新たな知を想像する場を生み出す課題解決に向けた行動化：言語活動を通じて新たな考え方と出会ったり、自分の考えをより妥当なものとしたりする。

Murphy（2018）によると、Quality Talkを促進するための教授法の枠組み（The ideal instructional frame；以下IIF）とは、教師と生徒の間で学びを共にコントロールしながら、知識を鵜呑みにするのではなく、知識が構築されていくような学習環境そのものであることが示された（Murphy, 2018）。言い換えるとIIFは、鈴木（2014）の構成主義に基づく授業の枠組みと軌を一にすると考えられる。したがって、対話的な学びが実現されたクライテリアを、「話し合いや発表活動を通じて、自らの考えを精緻化できているか」とする。

最後に、深い学びについて議論したい。田村（2018）や松下（2017）によると、深い学びは、学びのプロセスが重要とされている。具体的には、問題を解決するプロセス、解釈し考えを形

成するプロセス、構想し想像するプロセスに大別される。また、この学びを行うことで、身につけた知識や技能が関連づいて高度化し、汎用的な能力としていつでも使うことができる駆動状態に向かうことが期待されるとしている。すなわち、深い学びが実現されたクライテリアを、「探究の過程を十全に実施し、科学的概念の構築ができているか」とする。

これらを大観すると、主体的な学びと対話的な学びは一連の問題解決的な学習活動の仮説・計画、話し合い、発表の場面において検証し、深い学びはポートフォリオ分析において最終的に科学的概念の構築がなされているかを確認できれば、それぞれの学びが絡み合った主体的・対話的で深い学びが実現できたものと考えられる。

2-3 題材設定について

学習指導要領（平成 30 年度公示）では、対流による現象については、地球大気の断熱変化と降水の仕組みを扱う。その際、乾燥断熱減率と湿潤断熱減率を取り上げ、大気の気温減率との関係において、大気が安定か不安定かが決まることにも触れるとされている。対流に関する一連の理解においては、気温減率や大気の安定度が重要であるが、実感を伴う理解をして科学概念を形成するためには、学習課題の設定をどのようにするべきかを検討する必要があった。特に大気の安定・不安定性の理論については、天気予報で「上空の寒気流入により、大気の状態が不安定になる」といったことを耳にしたことがある生徒はクラス内に一定数存在するが、「大気の状態が不安定」という状態を曖昧なまま鵜呑みにしている生徒は多く、生徒の生活概念とは十分に関係付けられていないと考えられる。

ここからは、大気中を上に行くと、上昇した区間の空気の重さの分だけ圧力が低下することを定量的に評価するために、静水圧平衡について考えたい（小倉，2010；松田，2014；佐藤，2019 など）。中学校の理科学習では、一般に上空に行くほど気圧が低くなることを学習している。この気圧降下のために、注目した空気塊が断熱膨張することで周囲の大気に対して仕事をし、気温が下がる。

ここでは、気柱中に適当な直方体（東西方向を Δx [m]、南北方向を Δy [m]、鉛直方向を Δz [m]）の空気塊を想定し、注目空気塊の密度を ρ [kg/m³]、重力加速度を g [m/s²] とした。気圧については、直方体の下面にはたらく気圧を p [Pa] とし、上面にはたらく気圧は、気圧の変化量 Δp [Pa] を用いて、 $p + \Delta p$ [Pa] とした。簡単のため、地球が球面であることを考慮せず、直交座標系（東西方向： x 軸、南北方向： y 軸、鉛直方向： z 軸）で考える。注目している空気塊は、力がつりあっているものと考え、(1) 式を立て、(2) 式、(3) 式と展開した。

$$p \Delta x \Delta y = (p + \Delta p) \Delta x \Delta y + \rho (\Delta x \Delta y \Delta z) g \quad (1)$$

$$\Delta p = -\rho g \Delta z \quad (2)$$

$$\frac{\Delta p}{\Delta z} = -\rho g \quad (3)$$

(3) 式について、微分を用いると、以下 (4) 式のように書き直すことができる。

$$\frac{dp}{dz} = -\rho g \quad (4)$$

$$p = -\rho g z + p_0 \quad (5)$$

地上付近の大気を想定することで、注目空気塊の密度はほぼ一定と仮定すれば、簡単に (4) 式の微分方程式を解くことで、(5) 式が得られる。ただし、 p_0 は $z = 0$ (地表) における p とする。この仮定により、気圧と高度の関係を線形に落とし込むことができる。実際の授業では、微分方程式の解法が主眼ではないため、(4) 式を既習事項の 1 次関数の変化の割合と結びつけ、グラフ化し、(5) 式を導出した。(5) 式により、地上気圧が得られれば、高度を算出できることになるが、実際は [hPa] や [km] を用いなければならないため、単位変換については注意が必要である。

(4) 式のように、注目空気塊の重さの分だけ、上昇した際に気圧が低下する状態を静水圧平衡という (松田, 2014)。実際の大気は、静水圧平衡に近い状態にあることが多いとされている。静水圧平衡のもとでの鉛直方向の気圧傾度は、代表的な地上大気の密度と重力加速度の大きさから、地上付近で高度が 1 m 上昇すると気圧が約 12 Pa 減少することがわかっている。

ここからは、大気の安定度について検討したい。佐藤 (2019) によると、大気の安定度の解析では、エマグラムを用いて鉛直一次元の大気の気温を分析する (図 2)。エマグラムに、気圧と気温、露点温度を反映させて大気の安定度を評価する。持ち上げた空気塊の温度が、その高度での気温より高いと、さらに浮力により上昇するため、大気は不安定化すると考える。

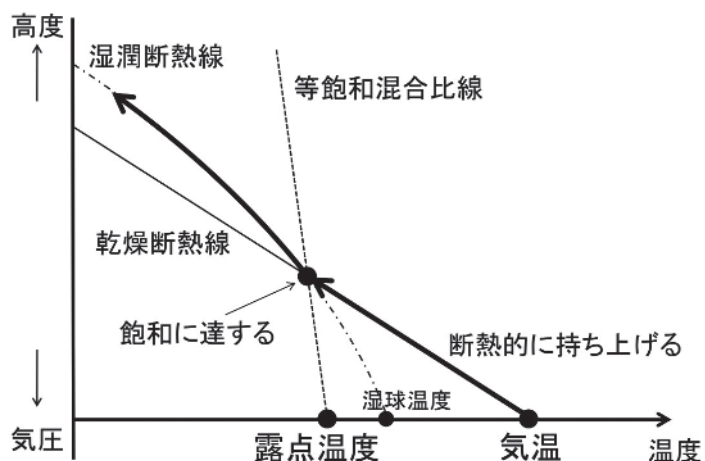


図 2. エマグラムの模式図

エマグラム上で、注目空気塊が上昇した際に理論的に算出される温度が、その高度における気温より高い場合、浮力を受けて上昇するため大気の状態は不安定と考えられる。

出典：佐藤 (2019) から転載。

エマグラムは、縦軸が気圧 ([hPa], 上下反転, 対数軸), 横軸が温度 ($^{\circ}\text{C}$) を表し, 乾燥断熱線, 湿潤断熱線, 等飽和混合比線を表す曲線が色別に背景に引かれているグラフである。乾燥断熱線は, 未飽和空気塊の乾燥断熱減率 (大気下層では約 $1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$) を示している。湿潤断熱線は, 飽和に達した空気塊の湿潤断熱減率 (大気下層では約 $0.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$) を示している。これらの線は, 単純に線形ではないため, エマグラム上でも曲線である。

実際の大気の温度減率は, 下層の大気では $0.6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 程度であり, 対流圏 (高度約 11 km まで) の大気は条件つき不安定であることが多いと知られている (小倉, 2010; 松田, 2014 など)。条件つき不安定のもとで, 未飽和空気塊を上昇させたとき, 空気塊の温度は乾燥断熱減率に従って低下し, やがて飽和に達する。このときの高度を持ち上げ凝結高度といい, 対流性雲 (積雲や積乱雲など) の雲底高度にほぼ対応することがわかっている。

実際の大気の鉛直方向の気温分布がどのようになっているかについては, ラジオゾンデを用いることが現業観測においても一般的であるが, 学校現場においてラジオゾンデを用いて計測することは, 経済的にも法的にも困難である。したがって, 実際の大気の気温分布をエマグラムに反映させることはできないが, 条件つき不安定成層または絶対不安定と仮定し, 未飽和空気塊を持ち上げた場合に飽和に達する高度が, 対流により雲が発生する高度と合致するとして, エマグラムの解析 (理論的手法) から雲の高度を算出し, ひいては発生メカニズムの解明に到達させたい。

以上をまとめると, 大気の安定度の理解につなげるためには, 鉛直方向の気温や気圧の減少に関する定量的理解が必要である。すなわち, これらの要素を複合的に絡ませた実験の目的が好ましい。大気の安定度が対流運動を駆動するという, 力学的かつ熱力学的な観点からの雲の発達仕組みそのものが今回の一連の学習内容と解釈できることから, 対流性雲である積雲の発生メカニズムを鉛直的な気温分布から考察できることを見据え, 実験の目的を「雲の高度を測定する」とした。この実験の解析は, エマグラムの作成を軸に, 大気の安定度の理解を内包している。

また, 実際の大気の温度分布と比較できない都合上, 目視での三角測量法による雲底高度の推定も行った (観測的手法)。この直接的な観測は生徒の科学概念を喚起すると共に, エマグラムの解析を補完することになると考えられるからである。

3. 授業実践の分析

3-1 授業実践の目的

探究の過程を内包した『理科授業デザイン』に基づく授業実践を行い, どのような授業の場面で主体的・対話的で深い学びが実現されているかについて, 検証を行った。主体的・対話的で深い学びの実現可能性については, 生徒が作成した実験報告書や発表に使用したホワイトボードといったポートフォリオを用いて, 前述したクライテリアの達成を判断した。

対象は, 神奈川県私立高等学校の高校 1 年生 245 名である。2018 年 10 月から 12 月の全 6

回の授業（各 50 分授業，合計時間は 5 時間）で行った。単元は，「大気の運動と気象」の対流である。地学基礎「(1) 地球のすがた (ウ) 大気と海洋 イ地球の熱収支」，地学「(3) 地球の大気と海洋 (ア) 大気の構造と運動 イ 大気の運動と気象」に対応している。

3-2 授業実践概要と方法

本実践の内容は，気象に関する重要な理解である対流の原因に関する単元である。生徒は，地球大気の鉛直構造，理想気体の状態方程式，静水圧平衡を既に学習している。大気の安定度や対流運動の理解を深めることを主眼に置き，雲底高度を算出するための三角測量法の解析実験やエマグラムの作成及び解析を行った。

分析は，授業中に取り組んでいる実験報告書，発表に用いたホワイトボード，事後の質問紙調査（別報告）などのポートフォリオを対象とした。

3-3 単元構造

本実践の授業は、『理科授業デザイン』（鈴木，2014）における授業の流れを踏襲した（図 1）。図 1 は，本実践での授業の流れ，探究の過程，『理科授業デザイン』の学びの関係性を示している。具体的には，以下のような構造で進行した。

1・2 時間目の授業は『問題把握的学習（第 1 象限）』に相当し，(1) 既有概念の確認，(2) 仮説・予想，(3) 私の実験計画，(4) 他人の実験計画・意見，(5) 実際の実験計画を実施した。既有概念を基に実験計画を個人で練り，班ごとに話し合い，クラス全体で発表し，最終的な実験計画を作成した。

3・4 時間目は『分析的学習（第 2 象限）』として，(6) 実験，結果のまとめ，(7) 私の考察を実施し，生徒が実際に実験（もしくは解析）を行い，結果をまとめ，各個人で考察を行った。

5・6 時間目は『共通感覚的学習（第 3 象限）』と『知識活用的学習（第 4 象限）』である。『共通感覚的学習（第 3 象限）』は，(8) 他人の考察・意見，(9) 統合した解釈に相当する。個人の解釈を基に，班内での話し合い（1 班 4—8 人程度），全体への発表を行い，統合した解釈を作成した。『知識活用的学習（第 4 象限）』は，(10) 新コンセプトマップ，(11) 新たな疑問，(12) 振り返り，自己評価に相当する。ここでは，新コンセプトマップの作成や新たな疑問をまとめることで，既有概念との結びつきや次の学習課題を見いださせた（図 1）。

3-4 ルーブリックを用いたパフォーマンス評価

『理科授業デザイン』の問題解決的学習においては，生徒が未知の課題に取り組むために，学習に対する見通しや指針が学習の初期段階に必要で，自律的な学びが非常に重要である（森本，2017）。

本実践では，生徒の学習活動の具現化のために，パフォーマンス評価を活用している（鈴木，2014）。そのために学習課題や活動に対して，どの程度まで達成することが必要かを示したルーブリックを運用した。ルーブリックは，パフォーマンス評価の信頼性を保証するために，観

点（次元）、基準（尺度）、記述語から構成された評価指標である（鈴木，2014）。問題解決的な学習では、教師による学びのコントロールが重要であり、学習活動の指針として生徒がルーブリックを意識化し、教師と生徒の間で共有化することで見通しを持った学習ができると考えられている。

ルーブリックを用いた評価の観点を実験計画・実験結果・解釈の三つに分類している。これは、竹田・鈴木（2017）と同様の方法を踏襲している。実験報告書において、A 評価に達していない項目が埋まっている場合は B 評価、空欄がある場合を C 評価とした。

4. 結果と考察

4-1 『問題把握的学習（第1象限）』

ここからは実際の授業の進行に従って、学びの検討を行いたい。一連の実践では、実験の目的（学習課題）を「雲の高度を測定する」とした。この実験は大気の安定度の理解を目指している。

授業導入で「雲の高度はどのように決まっているだろうか」、「雲の高度を知れば我々にとってどのようなメリットがあるのか」といった内的対話を促す発問し、実験の目的の明確化を行った。その上で、「雲の高度を計測するためにはどうすればいいか、仮説で原理を説明し、実験計画を立案しなさい」と実験の目的を生徒に提示した。

これを踏まえ (1) 既存概念の確認を行った (図3)。計画に関するルーブリックは、「雲の高度を測定する意義を踏まえ、測定するための原理を仮説で説明し、実験計画を立案できる」とした。具体的には、生徒に、雲の高度を測定する意義の整理とコンセプトマップの作成を取り組ませた。雲の高度を測定する意義の記述によると、雲の発生条件と高度や温度が関連していることに気がついていた (図3左)。実験の目的に即した意義について、教師が改めて問い直し、生徒へ自覚化を促すことで、実験の目的を明確にし、教師と生徒で意義や実験の目的を共有化できたと考えられる。

また、意義で考えた雲の存在条件を基に、コンセプトマップの作成に取り組んでいたことがわかった (図3右)。コンセプトマップの作成では、まず教師から用語（ラベル）を6つ（水蒸気、露点、雲、高度、熱、温度）提示した (図3右)。これらのラベルを、生徒は線で結びつける作業を行った。これにより、学習前の生徒の既存概念を可視化した。図3右によると、「b（露点）がその空気 f（温度）、d（高度）、g（圧力）に左右される」や「g（圧力）が大きい時、物質は e（熱）を持ち、f（温度）が高い」といった、物理量の従属関係が見受けられたが、論理的なつながりの説明については不足していた。

次に、(2) 仮説・予想を立てさせた (図4左)。ここでは、既存概念（雲の形成には水蒸気が必要であること、雲は凝結した結果の水滴であること、光の反射による時間から算出）を用いて、雲の高度測定について、身体を用いた仰角測定や具体物である雨の落下速度の測定を検討していることがわかった。

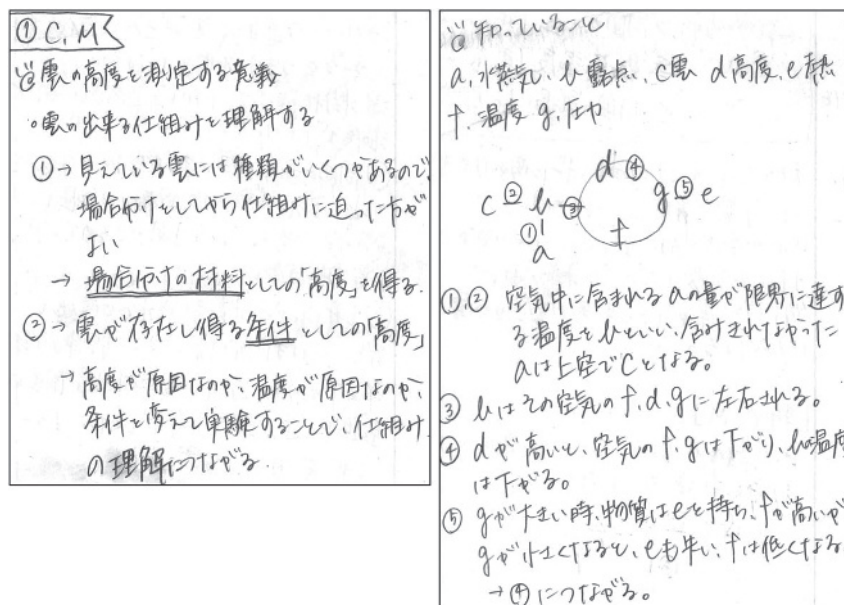


図3. 「(1) 既概念の確認」の学習場面で作成を行った、実験を行う意義（左）と既概念の確認するためのコンセプトマップ（右）

実験を行う意義では、「雲が存在し得る条件としての「高度」とあり、雲の発生する仕組みが高度や気温に関係していることに言及していた。また、コンセプトマップでは用語（ラベル）を線で結びつけ、物理量の従属性を可視化していた。

学習活動 (1) (2) から、実験の目的そのものの学習意義や既概念を確認することで、対象への興味や関心の自覚化が促されている。また、身近なもの（身体や雨）を想起して、生活概念として現実の問題へ結びつけていた。換言すれば、(2) までの学びがあらゆる知識を結びつけていたことから、「様々な事物・現象から問題を見だし、解決可能な学習課題を設定することができていると考えられ、課題の把握（発見）に相当すると考えられる。

この後、(3) 私の実験計画の作成を行った。ここは、(1) や (2) を踏まえて、各個人が実験計画を立案する学習場面である。生徒は、(1) や (2) で雲の存在条件に物理的要素が関係することがわかっている。図4によると、生徒は、観測対象の雲を決定した後、三角比を用いて幾何学的に高度を算出しようと検討していたことがわかる。すなわち、生徒は自身の数学的知識や経済的制限、生活概念を駆使して、現実的な実験計画を提案していた（図4右）。

次に、対話的な活動（班での話し合い）が主体である (4) 他人の実験計画・意見へと授業が展開した。(4) では、生徒が考えた高度測定計画について、まず班で話し合いをし、班でまとめた考えを全体に対して発表した。発表された計画は、二つに大別された。一つは目視による三角測量法を用いた直接観測による高度測定である。もう一つは静水圧平衡を仮定し、地上の気象観測の結果からエマグラムでの作図を用いた高度の算出である。図4を記載した生徒は、前者を提案していた。

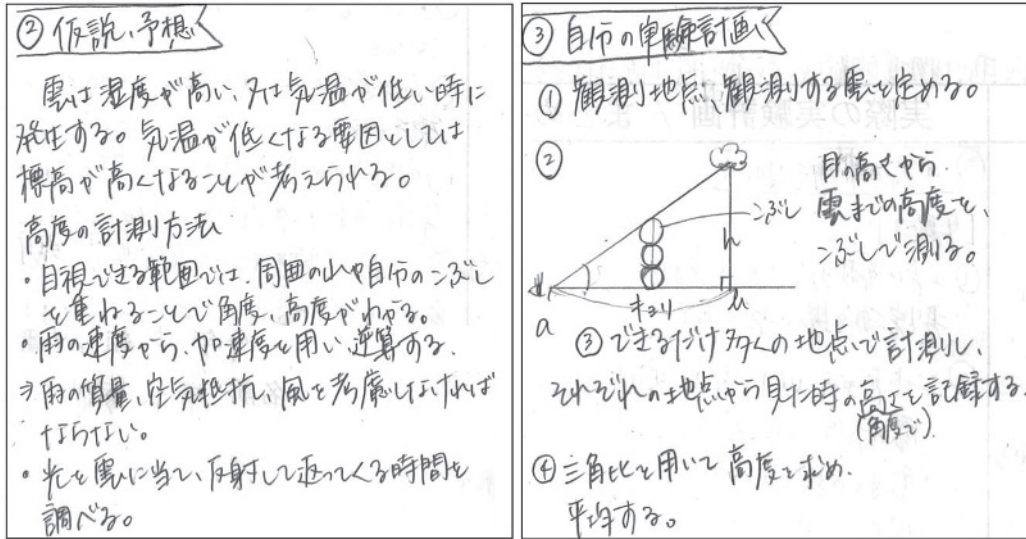


図4. 実験報告書の「(2) 仮説・予想」(左), 「(3) 私の実験計画」(右)

「(2) 仮説・予想」では、雲の高度測定について、既存概念を駆使した測定方法（身体を用いた仰角測定、雨の落下速度、光の反射など）を検討していた。また、「(3) 私の実験計画」では、三角測量による幾何学的算出を検討していた。

したがって、生徒の意見を基にこれまでの学習内容や学術的価値を踏まえ、観測的手法と理論的手法の二つの観点から (5) 実際の実験計画の作成を教師が行った。これらの記述から、生徒自身が雲の発生メカニズムを理解する上で物理量の従属性に関して見通しを持ち、仮説・予想や実験計画を立案できたことは明らかである。これは一連の問題解決的な学習の端緒である問題把握的学習において、主体的な学びのクライテリアが達成され、主体的な学びが具現化された証左であると考えられる。

4-2 『分析的学習 (第2象限)』

本実験は、数値の取得や計算、グラフの作成や作図も行うため、「雲底高度のデータや算出過程について、表やエマグラムなどを用いてわかりやすくまとめ、雲底高度を実測と理論からそれぞれ算出することができる」というルーブリックを提示した。その後、(5)に基づき実験を行い、(6) 実験、結果のまとめへ展開した (図1)。図5では、計算過程について詳細に記述していた。また、実験Iについては表を用いて数値をまとめていた (図5左)。すなわち、ルーブリックを意識して取り組んだ成果だと考えられる。

ここでは、エマグラムの作成を行い、実験報告書に添付した状態で提出させた。この取り組みは、結果（取得データ）を有意義な形に処理する技能そのものであり、課題の探究（追究）と同意義と考えられる。また、実験は生徒間の協働的な取り組みであり、班内では活発に行われていた。結果をまとめることで、考察や考察を踏まえた話し合いの準備をしていた。

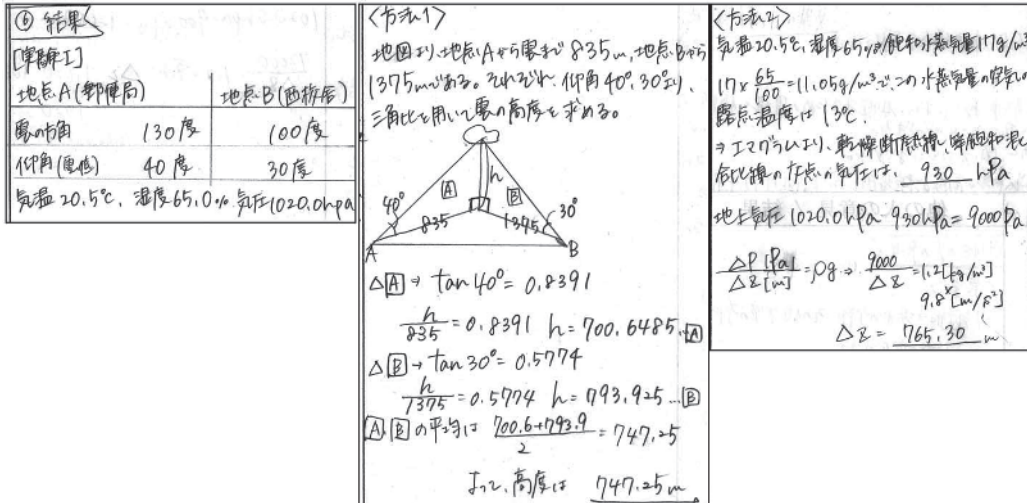


図5. 「(6) 実験, 結果のまとめ」の学習場面で行った実験報告書の実験結果のまとめ
 実験Iの測定結果のまとめでは表を用いていた(左)。方法1及び2では雲の高度の算出過程を数式や言葉で説明しながら記述していた(中央, 右)。

次に、考察の場面に授業は展開した。解釈のルーブリックは「雲ができるメカニズムや雲の高度の決定要因について、図、グラフ、モデルを用いて物理的観点から解釈し説明することができる」であり、パフォーマンス評価を実施するために、生徒に提示した。

(7) 私の考察は、各個人が結果からわかることを考察する学習場面である。図6左(話し合い・発表前)によると、「水蒸気が水になるために、露点温度に達しなければならない」と述べ、空気塊の上昇と気温・高度の関係性を説明していた。すなわち、高度に対する気温減率と露点に対して、雲という具体物と関連した理解が形成されていたことがわかる。しかしながら、この段階では空気塊の上昇とエネルギーの関係性やエマグラムから読み取れる不安定性についての理解の記述はあまりなされていなかった。(7)までの学びが、「仮説を設定し、検証計画を立案し見通しをもって観察、実験を行い、結果を適切に処理していた」ことから、課題の探究(追究)に相当すると考えられる。

4-3 『共通感覚的学習 (第3象限)』

(8) 他人の考察・意見の場面では、班での話し合いと班ごとに全体発表を行った(図6左から2番目の下, ホワイトボード)。他班の発表において、雲が上昇するエネルギーは熱(高い気温)由来であるという、エネルギーの観点からの指摘が見られた。空気塊の気温が大気鉛直運動と関係し、グラフから周囲の大気と上昇空気塊の気温差に注目し浮力の発生要因を検討する内容であった(図6左から2番目, 他班の意見で参考にした考え)。これは、対流有効位置エネルギー等の発展的理解につながる視点であると捉えられる。このように、話し合いや発表活動を通じて、他者から情報収集したりしながら、自分の考えを精緻化する取り組みが見ら

れた。

(9) 統合した解釈の作成では、生徒は上昇空気塊の気温について、周囲大気と比較し、エネルギーの観点から考察し、統合し直していることがわかった(図6右、話し合い・発表後)。図6の話し合い・発表の前後の記述を比較すると、解釈のまとめにおいて、他班の発表で出されていたエネルギーに関連した考えが反映されていた。言い換えると、生徒が話し合いや発表を通じて、自分の共通感覚的な考えを咀嚼し、自身の概念に取り込んでいたことから、**対話的な学び**のクライテリアが達成されており、**対話的な学び**が具現化されたと考えられる。このように話し合い活動は、科学概念獲得のための合意形成に寄与していたと捉えられる。

また、注目空気塊の温度と周囲の気温の比較において、エマグラム上で雲の発生メカニズムを定式化した理解をまとめていた(図6右、話し合い・発表後)。これは、科学概念の構築と判断できる。さらに、話し合いや発表では、「あと5分欲しい」等の時間に関する発言が飛び交うことがよく見受けられた。このことは、学びへの深い関与の事例であると捉えられる(松下, 2017)。

4-4 『知識活用的学習(第4象限)』

次に、(10) 新コンセプトマップに取り組んだ。ここでは、(10) 新コンセプトマップを(1) 既有概念の確認で行った際のコンセプトマップと比較したい(図7左、新C.M)。学習後の新コンセプトマップ(図7左)は、温度(f)がすべてのラベルとつながっており、旧コンセプトマップ(図3右)には見られなかったものである。したがって、学習後に温度(f)が雲の発生において中核的な位置を占めていることがわかった。これは、大気の状態は気温が軸であることが概念的に構築されたためと考えられる。

また、(10) 新コンセプトマップの説明には、浮力というラベルも加わり、学習内容を増幅させていた。学習前後でマップ上の用語の結びつきを示す線の本数も5本から7本に増加していたことから、有機的に知識がつながったことが読み取れる(図3右、図7左)。コンセプトマップの記述の中でラベル間の線の本数が増加するということは、概念の拡大を意味しており、この概念の拡大は深い理解に寄与したと考えられる。

最後に、(11) 新たな疑問の作成、(12) 振り返り、自己評価を行った(図7右)。これは、『知識活用的学習(第4象限)』に相当し、今後の展望や新たな疑問を再度まとめ、既有概念との結びつきや次の学習課題を見いださせることが目的である。

(11) 新たな疑問では、雲の形成要因を踏まえて、雲の現象(降水)に関する疑問を投げかけていた。学習指導要領においても、降水に関する理解は履修内容に含まれており、今後の学習への足がかりになると考えられる。(12) 振り返り、自己評価は、学習全体を鑑みたときの生徒自らの学びの振り返りに位置付けられる。到達目標と比較した上で、三段階で評価し、理由についても記述していた。自らの学びを振り返ることは、学びを状況下でコントロールすることに寄与する**主体的な学び**と同意義であると思われる。また、図7右によると、自己評価「順序を立ててまとめ、説明することができた」の記述は、単なる宣言的理解としてではなく、一

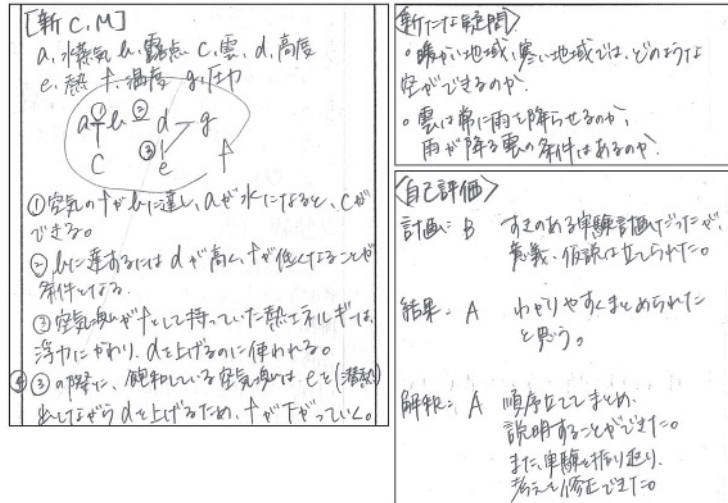


図7. 実験報告書の新コンセプトマップ (左), 新たな疑問, 自己評価 (右)

「(10) 新コンセプトマップ」, 「(11) 新たな疑問」, 「(12) 振り返り, 自己評価」の学習場面でを行った。新コンセプトマップでは、学習の一番初めに書いたものと比べて、ラベルの結びつきの変容や数の増加が見られた。新たな疑問では、雲の形成要因を踏まえて、雲の現象(降水)に関して疑問を呈しており、次の学びの動機付けにつながるものと考えられる。自己評価では、学習全体通した生徒自らの学びの振り返りに相当し、ルーブリックに沿って自らの学びを評価することができていた。

連の問題解決的な過程である探究の過程を経て、生徒自身が省察できたことで科学概念が構築されたことを示している。換言すれば、深い学びのクライテリアが達成され、深い学びが実現されたものであると考えられる。

さらに、「実験を振り返り、考えを修正できた」との記載もあった(図7右下)。また、学びを振り返り、精緻化に繋がることもわかった。他班の発表内容を取り込むという対話的な活動を通じて、自身の考えを修正しながら学習を進め、深い学びが実現できていることがわかった(図7右下)。また、「実験結果を分析して解釈するとともに、考察が設定した課題と対応しているか、探究の過程を振り返る」ことが、(8) から (12) の学びそのものであることから、課題の解決が実現できていたと考えられる。

このように探究の過程を内包した『理科授業デザイン』の本実践では、一連の問題解決的な学習活動の仮説・計画、話し合い、発表の場面において、主体的な学びと対話的な学びが確認され、最終的に科学概念が構築されていた。以上のことから、主体的な学び、対話的な学びの各クライテリアが達成され、これらの学びが絡み合った主体的・対話的で深い学びが実現できたと考えられる。

5. 本研究の結論

本研究では、教師が学習環境をどのように整備しているのかの観点を精査し、生徒の作成したポートフォリオを分析することで、**主体的・対話的で深い学び**の実現について検討した。実践では、対流性雲の高度測定実験を軸に、大気の安定度の理解を構築するために、**探究の過程**を内包した『理科授業デザイン』を実施した。

生徒自身が見通しを持ち、仮説・予想を立てて実験計画を立案していた。また、ルーブリックを意識しながら学習を進め、まとめでは学習活動を自己評価して振り返りができていた。したがって、**主体的な学び**のクライテリアが達成され、**主体的な学び**が具現化されたと考えられる。実験結果や考察をまとめる際には、話し合いや発表活動を行った。他者から情報を収集したり、疑問を他者との間で自分の考えを精緻化したりしていたことから、**対話的な学び**のクライテリアが達成され、**対話的な学び**が具現化されていたと考えられる。また、生徒の統合した解釈や自己評価の記述から、単なる宣言的理解としてではなく、一連の**探究の過程**を経て、科学概念を構築したことを示しており、**深い学び**のクライテリアが達成され、**深い学び**が実現されたものと考えられる。

本実践では、**主体的な学び**と**対話的な学び**は一連の問題解決的な学習活動の仮説・計画、話し合い、発表の場面において確認され、**深い学び**はポートフォリオ分析において最終的に科学的概念の構築がなされたことで確認できたため、**主体的・対話的で深い学び**が実現できたものと示唆される。

まとめると、『理科授業デザイン』による授業は、課題に対して**探究の過程**を十全に含み、**主体的な学び**、**対話的な学び**、**深い学び**のそれぞれが実現され、またこれらが絡み合っ科学概念が構築されているものであることが明らかになった。

教師の授業デザインの枠組みに対する目的と効果に関する生徒の理解は、状況的に時々刻々変化する。したがって、この学びの実現には、生徒の学習活動において教師による生徒への乖離のない支援が必要と考えられ、さらなる事例研究の蓄積が期待される。

謝辞

本論文は、慶應義塾湘南藤沢高等部 27 期生と共に築き上げた授業の実践研究である。実際の授業では熱心に取り組んでいた。また、本研究には様々な方に多大な協力をいただいた。関係者の皆様に感謝申し上げる。

参考文献

- 1) 小倉義光 (2010) 『一般気象学 (第 2 版)』東京大学出版会, 40-77.

- 2) 鈴木一成 (2014) 「子どもの思考と表現の育成に寄与する理科授業デザインとパフォーマンス評価に関する研究」, 東京学芸大学大学院博士論文.
- 3) 鈴木一成 (2019) 「学習指導要領における理科授業をデザインする枠組みについての一考察」, 東洋大学紀要, 第 72 集, 59-67.
- 4) 佐藤尚毅 (2019) 『はじめて学ぶ気象学 (第 1 版)』東京学芸大学出版, 13-90.
- 5) 竹田大樹, 鈴木一成 (2017) 「子どもの課題発見・解決に向けた主体的・協働的な理科授業を実践する視点に関する研究」, 東京学芸大学附属竹早中学校研究紀要, 第 55 号, 31-40.
- 6) 田村学 (2018) 『深い学び』東洋館出版社, 12-25.
- 7) P. Karen Murphy (2018) *Classroom Discussions in Education*, Routledge; 1 edition, 101-133.
- 8) 松田佳久 (2014) 『気象学入門』東京大学出版会, 55-88.
- 9) 松下佳代 (2017) 「科学教育におけるディープ・アクティブラーニング——概念変化の実践と研究に焦点を当てて」, 科学教育研究, 第 41 巻, 第 2 号, 77-84.
- 10) 森本信也 (2017) 『理科授業をデザインする理論とその展開——自律的に学ぶ子どもを育てる』東洋館出版社, 119-158.
- 11) 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』文部科学省, 172-189.