

〈資料〉

科学教育指導論のあゆみ

Overview of Instruction for Education of Science

荒木良一 井嶋博 古賀庸憲
 ARAKI Ryoichi IJIMA Hiroshi KOGA Tsunenori
 (和歌山大学教育学部) (和歌山大学教育学部) (和歌山大学教育学部)

2023年11月13日受理

抄録

This report is an overview of the activities in the Instruction for Education of Science, which has been launched in the 2018 academic year. The faculty members from different fields have prepared contents of this course to encourage students' independent activities from various perspectives, with the aim of developing the knowledge of natural science contents and ideas for providing others. In this report, we introduce some of the contents of each class and students' comments.

1. はじめに

将来の科学教育を担う学生の専攻専門科目として2018年度から科学教育指導論を開講している。本授業の共通認識は他者に自然科学の内容や考え方を伝える力を養うことである。担当教員の専門分野は生物(植物・動物)と物理分野であり、それらの担当教員が授業内容を設定・準備し、毎年15名前後の学生達に自然科学への関心を高め、指導方法について学ぶ機会を提供してきた。本資料では、討論や発表会を介した他者との相互理解を重視した各担当教員の授業内容を紹介する。

2. 各授業の内容と学生達の反応

2.1. 植物分野

2.1.1. 授業のねらいと構成

植物分野における本授業のねらいは、他者へ正しく自然科学分野の内容を伝える手法を学ぶことである。当初は研究発表の技術を磨くことを念頭にした内容であった。植物科学分野のトピックを題材に講義(授業1.5コマ)を行った後に、学生達をグループに分け、それぞれのグループで自然科学分野に関連したトピックと伝える相手(小学生から一般)を設定し、そのトピックを効果的に伝える方法についてグループごとに討論してもらった(授業1.5~2.5コマ)。最終日にまとめとして、成果発表会を行った(授業1コマ)。この形式の授業を3年続けたものの、発表会の雰囲気アットホームな雰囲気になり、難しい説明・表現を避けるために曖昧な表現を許容する発表が見受けられるようになった。その後、科学を正しく伝える本来の目的が疎かになることを懸念して、発表会形式から、グループでミニ図鑑を作成する形式に変更した。

2.1.2. グループワークのねらいから見えた課題

本授業では、教室外でのグループワークを推奨した。そのねらいは、図書館が質の高い情報を収集する場として重要であることをグループ内で共有してもらうことであった。同時にグループで図書館を活用する中で、図書館の利用頻度が少ない学生が上手に活用する仲間の姿を見ながら図書館の利用について経験と理解を深めてくれることも期待していた。しかし、図書館でグループワークを行なったグループはごく僅かであった。そのため、このねらいは空振りに終わった。

大人が「調べもの学習」という言葉からイメージする子供達の姿は、図鑑などの図書を片手に調べる姿ではないかと想像する。インターネットを介して膨大な量の情報を一瞬で手にすることが可能となった現在、タブレットなどの端末が図書の代わりとなっている現実を本授業でも目の当たりにすることになった。この変化を批判する意図はない。数年後に教員となる学生の中にも、もしかしたら、「大人」が思い描く図書を片手に調べる子どもたちの姿を共有している学生がいるかもしれない。そのような学生が、児童たちに期待する「調べ物学習の姿」とのギャップに直面した時は、本授業の自分たちの姿を思い出し、どのような工夫で図書館へ誘導したら良いかを考えてほしい。

2.1.3. 成果物としてのミニ図鑑への期待

グループ内でミニ図鑑を作成するという取り組みは、成果物が人の目に触れる形として残るため、気が抜けない課題である。また、学生達には、教員になった際にも活用することのできるレベルのミニ図鑑を作成することを目標にしてもらった。さらに、今回のように

グループワークの成果物を学部の紀要の一部としてインターネット上で公開することは、不特定多数の人に必要に応じて成果物を利用してもらうことが可能となるため、グループワークの成果物にはより高い完成度が求められる。一方、発表会を最終目標とした場合は、グループ内における対話・討論を経て作成された発表資料が手元に残るが、発表の機会は一度限りである。そのため、発表会を乗り切ってしまうと、たとえ未完でもそこで終わりにすることができる。実際、グループワークに取り組む姿勢は、発表会形式よりもミニ図鑑を作成する形式の方がより熱心だった。そして出来上がった成果物のミニ図鑑はどれも完成度が高いものであった。掲載の同意を得た2022年度の受講生が作成したミニ図鑑を、本資料の付録として掲載しているのご参照いただきたい(付録1と2)。

2.1.4. 学生の様子

口頭発表は、主にPowerPointを用いて15分程度の持ち時間で行なわれ、代表者のみの発表や全員参加型の発表などグループごとの個性が出ていた。小学生向けの発表を意識したグループは、積極的にアニメーションを活用したり、会話調形式の「劇」のような発表を行うなど、聞き手を惹きつける発表を心がけて準備を行ってくれた。発表者の振る舞いも含めて、親しみやすく自然科学の情報を伝えるというアプローチは学生達にとって大変有意義であったと考えられた。

ミニ図鑑を作成した場合は、各年とも手書きのイラストを準備したグループがあった。個人的な印象ではあるが、著作権フリーの画像を載せたミニ図鑑よりも親しみが湧き、作り手の存在を身近に感じることができた。また、オリジナルの写真や絵を使用する利点はスペースの限られたミニ図鑑を作成する時に、引用情報等を記載するスペースを削減できることである。

本授業の最終回には学生間の相互評価を実施した。学生達には、各グループの評価点数とその根拠となる評価コメントの記載を求めた。実際の授業の流れは、相互評価の一つ前の回で、ほぼ完成した成果物の発表を行い、その時に出された質問やコメントなどを参考にして改善したものを最終回で発表することにした。そのため、評価の点数は総じて高かった。ただし、コメントには評価の根拠に関する記述や、さらなる改善点について建設的な意見が見られるなど、学生達が評価者として公正な判断をしてくれたことが伺えた。

2.2. 動物分野および環境問題のディベート

主に2つの内容を実施した。一つは動物、生物分野といえる戦略ゲームで、もう一つは環境問題に関連したディベートである。それぞれの内容と学生レポートの一部を紹介する。

2.2.1. 戦略ゲーム

2.2.1-1. 内容

数学や他の理科の科目と比べ、暗記科目と見なされがちな生物学だが、実は多くの生物学的事象が進化理論により説明可能である。生物の置かれた環境により、どのような戦略(振る舞い)が有利になるかは、その戦略に伴う利益とコストにより確率的に決まる。そのため、同じ環境下でも偶然により異なる特徴が進化することもある。同じ種の生物では同じ資源を巡り競争することが多く、ある個体にとって有利な戦略は、周りの個体が用いる戦略により左右される。その場合、少数者が有利となる現象が見られ(少数者優位の法則)、有利な戦略はそれを用いる個体の頻度に依存して逆転する。このような人間社会にも共通する生物学のおもしろさを理解してもらうために戦略ゲーム(タカ・ハトゲーム)を行った。

戦略ゲームのオリジナルはメイナード・スミスのゲーム理論¹⁾、2018、2019年の授業ではそれに倣い実施したが(授業2 コマ使い)、2022年には、「生物の科学 遺産」で紹介された簡便的方法²⁾を基に、一部修正した方法で実施した(授業1 コマ)。本稿では後者を紹介する。目の前に得点2の価値のある食べ物があり(後出表1参照)、それを巡り争う分かりやすい戦略として、他の個体と分け合う戦略(ハト派)と徹底的に争う戦略(タカ派)の2つを考える。ハト派とタカ派が混在する場合、どちらが生き残りに有利かを、体を使ったゲームで確かめる。対戦する2個体は、次の3つのルールに従う。

①ともにハト派：食べ物を半分ずつ分け合う

②タカ派とハト派：ハト派は逃げ、タカ派が独占

③ともにタカ派：徹底的に争い2個体とも負傷

これに、表1のように得点を与えゲームを繰り返した時に、ハト派とタカ派、どちらの得点が高くなるか(生き残るか)を調べる。

ゲームに先立ち、受講生各自に手書きで「タカ」と「ハト」のカードを作らせ、対戦では各自がどちらか1枚のカードを出した。6～8人のグループに分かれ、グループ内で対戦させた。文献²⁾では一人一人が対戦しているが、本授業では時間短縮のため全員一斉に対戦させた。各自は対戦毎に戦略を変更可能とし、まず5回対戦した。そして得点を集計させ、グループ内で誰が高得点でどんな場合にその戦略が有利だったか振り返る時間を取った。その後、タカ派同士の争いにおけるマイナス点を大きくしたり、食べ物の価値を変えたりして条件を2度変更し、各5回、合計15回の対戦を行った後に得点を合計し、全員の順位を発表した。

オリジナルな条件²⁾の場合、ハト派のみの集団にタカ派が侵入すると、タカ派は常に勝利して高い得点を得るが、タカ派のみの集団にハト派が侵入すると、ハト派は得点ゼロであっても負傷でマイナス点の大きい

タカ派より有利である。2つの戦略の得点が等しくなるのはハト派：タカ派＝7：3くらいの時で、どちらの戦略もそれより多くなると不利になる(少数者優位の法則)。但し、スコア設定によっては、常にタカ派がハト派より有利になるが¹⁾、本稿では割愛する。

表1 対戦スコア

ともにハト派	ともに1点(分け合う)
ハト派とタカ派	ハト派0点、タカ派2点
ともにタカ派	ともに-2点(負傷のため)

2.2.1-2. 学生の反応

ゲームということもあり大変盛り上がった。レポートから、感想の一部を紹介する。

- ・楽しみながら授業ができる、生物離れを防ぐものの1つとして、積極的に利用していくべき。
- ・私のグループでは、タカ派を多く駆使した挑戦的であった学生が上位を占める結果に。他のグループでは反対に、ハト派で慎重に得点を積み重ねた学生が勝利。有利な戦略は生物が生息している環境によって全く異なる。
- ・その生物たちの戦略を生徒自身の身をもって体験することができ、印象的な学びになることはもちろん、その後の疑問の追及など、主体的な学びへと繋がれることが期待できる。
- ・ゲームでありながら、周囲の環境や条件次第で、どの戦略が有利になるかが変わる事を体感。

2.2.2. 環境問題のディベート

2.2.2-1. 内容

SDGsには17の主な課題があるが、本授業ではそのうち自然環境・社会環境に関するものの一部をディベートのテーマとした。2009～2016年度に開講した総合教育課程環境教育プログラムの専門科目「環境教育考察」(今村隆男・今村律子・古賀庸憲)において、ディベートのテーマとしたものの一部(レジ袋有料化の是非と原発推進の是非)と、時節的に議論に適した東京五輪・札幌五輪の誘致・開催の是非をテーマとした。このディベートには次のような狙い・注意点がある。

- ・いろんな社会的課題には賛否があり、双方の主張を理解することが重要。
- ・ある政策には必ずメリットとデメリットがあり、しかも問題は一面的ではないので、多方面から調べて議論することが重要。
- ・議論を闘わせることは重要とされるが、その機会は少ないので授業で行う。
- ・一つの特徴がメリットにもデメリットにもなる。それを上手く議論に活かせるか?
- ・データ(数字)は高い説得力を持つ。しかし、データ

の信頼性を吟味することも重要。

- ・短い時間で効果的に意見を述べることは容易ではなく、準備・訓練が必要な事を体験する。

授業は原則2コマで行った。1コマ目には、教員が資料を基に各テーマについて概説し、ディベートの進め方を説明、受講生を3つのチームに分け(1チーム4～6名)、チーム内で調べ学習の分担をした。次の授業までに、各内容について賛成と反対の両方から意見を述べる事が出来るよう準備することが宿題。2コマ目がディベート。3チームが賛成派、反対派、審判に分かれ、1回12～15分間の討論を行い、終了後は賛成派と反対派のどちらが優勢だったかを審判団が3分間で審議して結果を発表。1人1回あたり30秒以内で意見や反論を述べ、30秒経ったら途中であっても発言を打ち切った。結果発表後ローテーションし、全員が賛成派、反対派、審判の全てのロールを務めた。

やってみると、チームやメンバーにより議論が白熱したり物足りなかつたり様々であった。また、状況的に賛成派が有利に思えるテーマでも反対派が勝利すること等がしばしばあり、メンバーの力量が勝敗に大きく影響していた。

2.2.2-2. 学生の感想とレポート

学生からは、30秒以内に意見をまとめて発表することと、相手の意見に効果的に反論することが容易ではないという感想が最もよく聞かれた。

学生のレポートから一部を改変し紹介する。

(1)レジ袋有料化への賛否(2018, 2019年)

- ・もうすぐレジ袋有料化の実施が義務づけられる状況で、討論する意味があるのか疑問に思ったが、やってみたら様々な意見があり、賛成・反対の両面からこの問題を深く考えることができた。
- ・様々な環境問題を解決するためには、国民一人一人の意識を変えていくことが必要なので、私はレジ袋の有料化に賛成。
- ・レジ袋有料化について結果としては反対。日本のプラスチック海洋流出は世界で33番目。ランキングの上位はアジア圏内の低～中所得国。日本がとるべき立場は他国の廃棄プラスチックの浄化能力を高めること。

(2)原発推進への賛否(2020～2022年)

- ・IPCCによると、2030年までに地球温暖化の対策強化が遅れた場合、人類に致命的な温度上昇を避けることは困難。安全面や稼働年数の観点から、原子力発電への長期的な依存はよくないが、再生可能エネルギー等による発電が安定するまでは原子力発電は必要であると考えます。
- ・発電で生じる放射性物質は人体、そして他の生物のDNAを傷つけ、様々な悪影響を引き起こす。いくら効率が良い方法であったとしても、人命への影響、

人以外の生命への影響を最も重要視して、考えていくべき。

(3)東京五輪開催への賛否 (2020年)

- ・開催により約30兆円もの経済効果があり、コロナ対策や環境問題を日本の最先端テクノロジーをもって克服できれば、世界への絶好のアピール。
- ・コロナ禍での開催には反対。

(4)東京五輪開催は成功だった? (2021年)

- ・自分は東京五輪を開催したことについて反対。選手の声が一番優先すべきであった。
- ・開催により、中・長期的な海外からの観光客が呼び込めると考えるので、現時点での成功・失敗は不明。今後の日本社会の発展如何で、開催が成功だったか分かるはず。

(5)札幌五輪誘致への賛否 (2022年)

- ・誘致に賛成。オリンピックの開催に意義あり。観光などによりその地域の文化や土地を知ってもらえる良い機会。
- ・誘致に反対。環境に与えるダメージが大きい。人工雪もそうだが、施設建設の際の環境破壊も懸念。また、運営費として使用される税金は、公共の福祉のために用いられるべき。
- ・大会組織委員会の不透明さ。東京大会における贈賄事件や、当初計画の2.5倍も増加した開催経費問題。現時点で既に札幌五輪の開催経費が当初より170億円も増加。

2.3. 物理分野

2.3.1. 目的と概要

物理学は、周知の通り初等教育から高等教育に至るまで、基礎から発展へと展開する積み上げ型の教科である。このことから、本分野の授業では、受講生が今後教員として受け持つ校種によって児童生徒がこれまで学んできたことだけでなく、将来学ぶことをも把握した授業展開を期待し、小学校理科から大学の専門科目として学ぶ物理の体系性を理解することを第一の目標に設定した。

そこでまず、初回の授業では小学校から振り返るためのアンケートを実施し、受講者が物理分野に持つ印象について調査を行うことから始めた。その結果、

- ・生活に密着した現象を説明する学問であり興味がわいた。
 - ・問題を解くのが楽しい。
- などのポジティブな意見がある一方、
- ・物理量の記号が多く、扱うオーダーが広い。
 - ・実験準備に精密性が要求され、実験自体の面白さが感じられない。
 - ・理論が難しい。

といったネガティブな意見もあった。これらの結果はおおよそ予想していた通りであるが、毎年度、受講生の

おおよそ1割は高等学校で「物理」を受講しておらず、さらにその半数程度は「物理」、「物理基礎」どちらも受講していないことが確認できた。つまり、高等学校において、物理に関する科目を受講していないことになる。この事実を受けて、当初予定していた授業内容少し修正し、担当者が考える物理学の本質や面白さを、科学史やその中で生まれた実験とその意義を含めることで具体的に解説をすることとした。また高等学校までに登場する古典物理学の中の学問分野として、力学分野、電磁気学分野、波動・光分野に分けて初等、中等、高等教育の体系と物理に密接に関係する数学の役割や古典物理学から相対論と量子論が生まれた背景や、その概要を取り扱う内容にした。

2.3.2. 構成と各回の内容

5回分各回の授業テーマは次の通りである。

- 第1回 物理学の歴史と物理教育の本質
- 第2回 数学と物理学の関わり
- 第3回 力学分野の授業づくり
- 第4回 電磁気分野の授業づくり
- 第5回 波動分野の授業づくり

初めに、第1回では毎年実施してきた受講者を対象としたアンケートについて、過去全ての回答をまとめた集計結果を示し、本学部において理科を専門的に学ぶ学生が抱えている物理学のイメージを紹介した。次に他大学の入試問題を引用し、物理学は様々な条件を背景にして理論を構築すること、実験ではその条件を整える必要があることを示した。さらに、ほとんどが演繹法で学んできた数学に対して、物理学を学ぶにあたっては演繹法と帰納法どちらも同じように登場し、これが物理学を教える者にとって理解しておく必要があることを示した。このような物理学の本質を念頭にしながら、物理学の歴史や、ガリレオ、ニュートン、アインシュタインといった著名な物理学者の功績について解説した。

第2回では、物理学と密接な関係にある数学の役割をテーマとし、現象を定式化し、さらに具体的な現象を再現するために必要な数学分野を示した。

第3回～第5回では「小学校理科」、「中学校理科」、そして高等学校の「物理基礎」と「物理」で学ぶ内容を教科書の目次や学習単元を基に一覧化し、初等教育からの物理学の各分野における教育体系を確認した。先に述べたように物理学は積み上げ型の科目ではあるものの、力学分野ではニュートン力学を学ぶにあたっての言葉の定義や現象の表現方法といった基礎を学んだ後に、力や運動の理論を展開する教育方法がとられているのに対し、電磁気分野では様々な法則性が学習初期から登場し、それらの法則を現象に応用できるように発展させていく教育の方法がとられていることを示した。

5回を通して、授業中心のいわゆる座学だけとならないように、教科書や学習内容の要点をまとめたり問題を解く演習を取り入れ、さらに波動分野では、いかに物理学の実験を面白くさせるかを議論し、実験の背景にある歴史を取り入れた例としてヤングの実験を全員で行う内容にした。

2.3.3. 受講生の反応と授業の感想について

受講生の反応としては、第2回の数学についての内容があまり良くなく、授業への興味が薄く、集中度も低いように感じられた。この要因には、高等学校までは高度な数学を含めない物理教育が行われていることが考えられる。このため大学の物理の授業においても数学が関わる内容を敬遠する大学生が多く、物理学と数学の密接な関係にまで考察できる受講生が多くないと考えられる。一方、第1回と第3回から第5回の授業では受講生の反応は毎年大変良く、様々な意見や質問が受講生からあり、興味関心を持って受講していた様子が伺えた。

毎回実施した、アンケートで多かった意見や感想として次のような回答があった。

- ・物理学を含めた科学の歴史をもっと学びたい。
- ・苦手にしていて物理学が、歴史的背景や先人の試行錯誤を知ることで興味が持てるようになった。
- ・小中高の学習体系を把握するため教科書の内容を比較したことが無く、その重要性を知ることができて良かった。
- ・これまで物理を学んできたが、演繹法、帰納法は初めて知った。言葉の定義や意味を含めて物理の考え方を整理する良い機会になった。
- ・地味と思っていた物理の実験であるが、歴史的背景

を知ることで面白くできることがよく分かった。

学習支援システム(moodle)による記名のアンケートであったため、否定的な意見はほとんどなかったが、授業中の様子からも、受講者の反応は概ね良かったと考えられる。また、上記の意見の多くには、将来教員になったときに活用できる内容であったと付け加えられていた。

3. まとめ

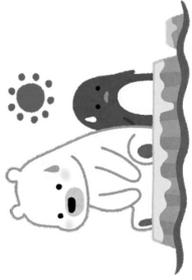
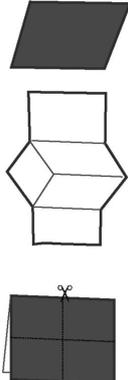
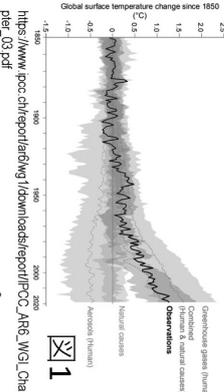
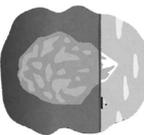
異なる専門分野の教員が用意した授業で、学生達は自然科学分野の内容を理解し、自らによるそれらの説明あるいは体験を通じてより理解を深めてくれた。さらに、細分化された科学分野を俯瞰的に見渡すことで分野ごとの歴史や相違点を見出し、科学分野の面白さに気付くことができた。授業に参加した学生の様子から、多角的な視点からアプローチした本授業の取り組みは、十分学生達に受け入れられたと考えられた。

謝辞

ミニ図鑑の作成にあたっては高須英樹名誉教授が当時ご所属先の和歌山県立自然博物館で子供向けに配布された「和歌山の森や林でみられるドングリ」と題するミニ図鑑を本授業の参考資料として利用すること及び、一部を本授業の受講生に配布することを許可していただきました。

引用文献

- 1) Maynard-Smith J (1982) Evolution and the Theory of Games. Cambridge University Press, Cambridge
- 2) 永田英明 (1998)、戦略ゲーム、田幡憲一ほか編、生物の科学 遺伝 別冊No.10 とっておき生物実験、裳華房、p. 25-26

<h2 style="text-align: center;">クイズ①</h2> <p style="text-align: center;">温室効果ガスは 色んな種類ある？</p> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>Point (温室効果ガスの役割は知ってる?)</p> </div>	<h1 style="text-align: center;">A. ホント</h1> <p>温室効果ガスは、有名な二酸化炭素の他にも、水蒸気や酸素が含まれます。</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>Point 温室効果ガスは地球の温度を適温にしているんだよ。悪者って言うだけではないんだよ。</p> </div>
<p style="text-align: center;">世界中で戦争が増える？ 絶滅する生物が増える？</p> <p>これらの原因の一つは、近年世界で問題になっている温室効果ガスによっておこる地球温暖化です。 地球温暖化に関するクイズを三問、用意しました。ぜひ挑戦してみてください。</p> <div style="text-align: center;">  </div>	<h2 style="text-align: center;">クイズ②</h2> <p style="text-align: center;">温室効果ガスには色々な種類あったよね…？</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>Point CO2は地球温暖化の原因ではない！</p> </div>
<h2 style="text-align: center;">地球温暖化の ウン・ホント？</h2> <p style="text-align: center;">・制作 72期教育学部) 福岡翔馬・見浦響・大久保周透 文野樹・藤川隆太郎</p> <div style="text-align: center;">  </div>	<h1 style="text-align: center;">A. ウソ</h1> <p>CO2こそが地球温暖化の原因です。シミュレーション上ではCO2が原因だと明らかにされていますよ。</p> <div style="text-align: center;">  <p>FIG. 3.1: How do we know humans are causing climate change? Observed warming (1850-2019) is only reproduced in simulations including human influence. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/cha/fig_3_3.pdf</p> <p>真ん中をハミで切って点線部分で折る。ミニ図鑑の完成！</p> </div>
<h1 style="text-align: center;">A. ホント</h1> <p>氷床や流氷は白いので、光をよく反射します。だから、太陽の熱をよく吸収しやすくしてしまっただ。</p> <p>【引用・参考文献】 ・地球温暖化の意外なリスク 「世界一受けたい授業」のネタ補足 (江守正多) 個人 - Yahoo! ニュース ・IPCC WGI AR5 https://www.ipcc.ch/ ・IPCC第6次評価報告書のレポート (図1) https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/ ・グリーンランド氷床の質量変化: NOAA Arctic Report Card 2019, Fig. 3 https://onl.bz/ppYbIhd</p>	<h2 style="text-align: center;">クイズ③</h2> <p style="text-align: center;">地球の氷が溶けると 地球温暖化が進む？</p> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p>Point 氷の役割はただ冷やすことだけじゃないんです</p> </div>