

仮想水の利用を以て環境問題について考える 中学校数学科の授業

Lessons of Junior High School Mathematics Which Consider Environmental Problems Using the Concept of Virtual Water

垣水 修・若井 光男・大堀 俊輔
影山 権龍・平沢 大樹・鳥居 竜一

Osamu KAKIMIZU, Mitsuo WAKAI, Shunsuke OOHORI
Kenryuu KAGEYAMA, Daiki HIRASAWA and Ryuichi TORII

0. はじめに

持続可能な発展という概念は、経済成長と生態学的な制約とをそれぞれ別個のものとして扱うのではなく、それらの間の複雑でダイナミックな緊張関係と相互作用とを認識し、それに正面から向き合おうとする考え方である。今日の社会においては、すべての人々に持続可能な未来を目指して努力することが求められている。このような時代にあつて教育の目的は、教養を備え、社会的であり、環境に対する意識が高く、創造的であるような人間を育てていくことにあると言えるだろう。

貿易のグローバル化と技術の国際的な広がり、様々な共通する地球規模の課題や問題を提起している ([16], [17])。水資源問題は地球環境問題のなかでも、貿易問題、食糧問題など多様な問題が相互に関連しあう領域である。アンソニー・アラン (J. Anthony Allan) は1999年に、乾燥地帯に位置する中東諸国で、水利権をめぐる紛争が起りにくい理由について考察し、「仮想水 (virtual water)」の概念を提唱した [12]。仮想水とは、農・畜産物および工業製品の生産に要した水資源を、製品の輸出入に伴って水もまた輸出入されていると捉える考え方である。

本稿では、この仮想水の考え方を学校教育のカリキュラムのなかに取り入れていくことを提案し、新しい視点に立って環境問題について考えていく力をどのように育んでいくか考察する。子どもたちが仮想水の利用を理解するためには、社会的で協力的なスキルや情報スキルと共に、数理的に思考するスキルが必要であり、教科領域に横断的なリテラシーが必要である。経済協力開発機構 (OECD) は2000年以来3年ごとに、生徒の学習到達度に関する国際比較調査 (PISA調査) をおこなっており、そこでは主要な4つの、教科領域に横断的なリテラシーの測定がなされている ([1], [2], [3])。そのなかで数学的リテラシーは、生徒が様々な状況における数学的な課題に対して、問題を設定・定式化し、解釈し、それを解決するための概念を分析し、それを以て推論し、さらにその結果を他者に伝達する能力であると定義されている。また問題解決能力は、現実の領域横断的な状況に直面した場合に、問題に対処し、解決することができる能力をさしている。仮想水の利用を理解し、その有効性について認識することは、数学的リテラシーと問題解決能力の育成に深く関わるものである。さらに数学における概念形成と概念認識の問題として重要であり、数学の活用として興味深い事例を提供するものである。

筆者等は、[7], [8], [9]において、数学的リテラシーと問題解決能力を育成していくための授業実践やキー・コンピテンシーの概念 ([6]) に基

づいた授業実践をおこない、その分析と考察をおこなってきた。また [10] では、PISAの調査問題を用いた学力調査をおこない、その分析に基づいてPISAの学力観と、環境問題を取り上げた教材を学校教育に取り入れていくことの意義について考察をおこなっている。また数学を用いて環境問題について考える場合における、新しい概念の形成と理解に関する問題と、数学の活用における抽象性の意義との関係については、[11] における考察を参照されたい。持続可能な社会の代表的な指標として、[9] において取り上げた「エコロジカル・フットプリント」の概念がある。水資源（淡水）は人類の健康および生態系の健全性にとって重要な要素であるが、エコロジカル・フットプリントには算入されていない。本稿では、仮想水を教材として、新しい視点に立って環境問題について考える授業を提案する。

平成20年3月に告示された「新学習指導要領」では、改訂の基本方針として「基礎的・基本的な知識・技能を確実に習得させること、これらを活用して課題を解決するために必要な思考力、判断力、表現力その他の能力をはぐくむことの双方が重要であり、これらのバランスを重視する必要がある」としたうえで、さらに、

教科の枠を超えた横断的・総合的な課題について各教科等で習得した知識・技能を相互に関連付けながら解決するといった探究活動の質的な充実を図ることなどにより思考力・判断力・表現力等を育成する

ことの重要性を強調している [5]。また中学校段階では、「知的な面では抽象的、論理的思考が発達するとともに社会性なども発達してくる」ことから、教育課程実施上の配慮事項として、

- (a) 持続可能な社会を形成すると言う観点から、私たちがよりよい社会を築いていくために解決すべき課題を探求させ、自分の考えをまとめさせる、
- (b) 数学的な表現を用いて、根拠を明らかにし筋道立てて説明し伝え合う、

などの言語活動を取り入れた活動の充実を図ることが重要であるとしている ([4], [5])。

我々は以上のような観点に立って、仮想水の概念を教材として用いた中学校数学科の授業を構想し、

新潟県内の公立中学校において授業実践をおこなった。第1節では、仮想水に関する基本的な考え方について解説し、第2節で、授業の構想と内容について詳しく述べ、第3節において実践結果とデータを分析し考察をおこなう。

1. 仮想水

本節では、[13], [14], [15] に基づいて、水資源問題と仮想水について概観する。さらに農産物および畜産物の日本を中心とした仮想水輸入量の計算方法について詳しく解説する。

(1) 仮想水の概念

世界には3500万km³の淡水が存在するといわれているが、その70%近くは氷冠であり、約30%は地下水である。地球上の湖、河川、小川、湿地帯を満たしている淡水は1%未満に過ぎない。このうち世界中の再生可能な淡水資源の総量は約4万km³であり、世界の年間取水量は、そのうちの約10%で、それが農業用水、工業用水、家庭用水として供給されている。日本は世界平均値のおよそ2倍近い年間1700~1800mmもの降水量に恵まれているため、水危機を実感することは希である。しかしながら、世界的には水不足が深刻な問題となる危険度は今後ますます増大すると考えられている。とりわけ21世紀に激しい経済成長、人口増加の予想されているアジア地域では深刻な問題となりうる。こうした状況にあって、直接消費される水や降雨量、流出量などの目に見える水のみを捉えるだけでは国際的な水資源問題を論ずる上で不十分だとする考え方が重要視されるようになり、アンソニー・アランは [12] において、水問題を社会的・政治的な問題に結びつける方法としての「仮想水 (virtual water)」の概念を提唱した。これは食糧や工業製品の生産に必要な水資源量を求めて、農業用水、工業用水および生活用水の配分を考えるときの材料にし、政策決定に用いようとするものであり、製品の生産に使われた水資源を、その製品の購入者が間接的に消費したとみなす考え方である。アンソニー・アランは、中東の水不足地域において、穀物を輸入していなかったら水不足はより逼迫していて、水をめぐり争いがより緊迫していただろうという観点から、仮想水を輸入することによって、水需給が緩和されていると論じている。

農業灌漑用の水利用は世界の水資源使用量の7割

～9割を占め、農業を他国に頼ることは水資源を節約することであると同時に、他国の水資源を消費することでもある。この概念を日本に適用し、日本が輸入している穀物を日本で栽培していたとしたらどの程度の水資源が必要であったか、あるいは畜産製品を生産するための飼料用の穀物の生産等にはどの程度の水が必要であったかを算定する試みがなされている ([13], [14])。これによると、日本は食糧輸入によって640億m³/年もの水資源を使用せずに済んでいるという結果が出ている。小麦の生産には可食部重量の2,000倍、米では3,600倍、鶏肉では4,500倍、牛肉では約20,000倍の水資源が必要であると算定されている。

こうした製品の単位重量あたりに必要な水資源量（これを「水消費原単位」と呼ぶ）は、単位面積当たりの穀物の収量に逆比例するため、国や地域、年代によって大きく変化する。輸出元の国での水消費原単位を用いるとそれは仮想ではなく実際に使用された水資源量に相当し、一般には輸入国での水消費原単位に基く仮想水の算定値よりも小さく、水に關する比較優位の法則が成り立っていることが多い。沖大幹等は、[13], [14]において、両者は混同されやすいので、前者を現実投入水量、後者を仮想投入水量と呼んで区別することを提案している。

- ・ 現実投入水量 (really required water) : 生産国 (輸出国) において、実際に使用された水資源量。
- ・ 仮想投入水量 (virtual required water) : 消費国 (輸入国) で、もしそれを作っていたとしたら必要であった水資源量。

この仮想投入水量が本稿で用いる意味での仮想水 (virtual water) に相当し、これにより食料などの輸入に伴って、輸入国でどの程度の水資源が節約されたかを見積もることができる。生産国 (輸出国)

と消費国 (輸入国) とで水消費原単位、すなわちある製品の単位量を生産するのに必要な水量が同じであれば、現実投入水量と仮想投入水量とは同じになる。しかし、単位面積当たりの収量が国によっては何倍も異なるために、水消費原単位は国によって、また技術の進展に伴って時系列的にも異なっている。そこで、穀物は生育に一定の水を使用するが、収量が異なるという仮定の下で、国や地域ごとの水消費原単位を求める研究がおこなわれている。一般に単位面積あたりの収量は生産国 (輸出国) の方が消費国 (輸入国) よりも高いため、水消費原単位は生産国 (輸出国) の方が消費国 (輸入国) よりも小さくなる。例えば同じ 1 kg の小麦に対する投入水量も、生産国では 1.8 m なのに対し、消費国では 2.5 m であるというように、仮想投入水量の方が現実投入水量よりも多くなることになる。この観点から見ると、より単位面積あたりの収量が高く水消費原単位が少ない国で生産し、単位面積あたりの収量が低く同じだけの食料を生産するのにより多くの水を必要とする国が輸入して消費することは、グローバルに見ると水資源を節約していることになるわけである。

(2) 農作物に伴う仮想水の輸入

仮想水量を考える際には、取引量の大きさが重要であることから、それに基づいて分析対象品目が選ばれている。農作物に関しては、米、小麦、とうもろこし、大豆について考えることにする。水消費原単位は、各農作物を灌漑栽培手法で行った場合について計算される。これは水資源を明白に農業用水として利用・消費しているといえるからである。農作物の水消費原単位の求め方は次式で与えられる。

$$\begin{aligned} & \text{水消費原単位 (m}^3\text{/t)} \\ & = [\text{日灌漑水深 (m/日)}] \times 10 \times [\text{灌漑期間 (日)}] \\ & \quad \div [\text{1 haあたり収量 (t/ha)}] \end{aligned}$$

表 1. 1 農作物の水消費原単位 (1998年の場合)

作物名	日灌漑水深 (mm/日)	灌漑期間 (日)	1 haあたり収量 (t/ha)	水消費原単位 (m ³ /t)
米 (精米前)	25	110	5.4	5,100
小麦 (精製前)	3	270	2.6	3,200
とうもろこし (芯皮付き)	7	80	7.0	800
大豆	6	120	2.1	3,400

米の水消費原単位は精米前で5,100 (m³/t), 精米後で7,800 (m³/t) である。精米後で値が上昇する理由は、1 ha当たりの収量が5.4 (t/ha) から精米することによって3.5 (t/ha) に減少するためである。小麦の水消費原単位は精製前で3,200 (m³/t), 飼料用で3,700 (m³/t), 小麦粉で4,500 (m³/t) となる。この理由も米のときと同様、1 ha当たりの収量が減少するためである。とうもろこしの水消費原単位は皮芯付きで800 (m³/t), 粒のみで2,000 (m³/t) となる。米の水消費原単位が大きいのは、水田での栽培ということから日灌漑水深の値が大きいことと関係している。

各農作物の仮想水量は水消費原単位 (m³/t) に年間輸入量 (t) を乗じることによって求められる。総仮想水輸入量は486億m³/年に及ぶ。日本の穀物輸入はその大部分がアメリカからの輸入であるため、アメリカからの仮想水輸入量が多くなっている。日本の農業用水量が約590億m³/年であることを考慮すると、486億m³/年という農作物に由来する仮想水輸入量の大きさが実感される。

(3) 畜産物輸入に伴う仮想水の輸入

取引量の大きい品目である牛肉、豚肉、および鶏肉が分析対象品目である。分析にはまず畜産物の水消費原単位を算出する必要がある。畜産物を得るためには、家畜に様々な飼料を与える必要があるが、飼料の原料は主として穀物であることから、飼料中の穀物の種別とその組成割合や飼育期間を調べることにより、家畜が消費した穀物量が推定される。これと先程の項で計算した農作物の水消費原単位を用いることによって1頭の家畜に投入した仮想水量を推定することができる。この仮想水量を1頭の家畜から得られる肉量で除すことによって、畜産物の水消費原単位を算出することができる。計算式は次のようになる。

$$\begin{aligned} & \text{水消費原単位 (m}^3/\text{t)} \\ & = [\text{水資源換算量 (m}^3)] \div ([\text{体重 (kg)}] \times \\ & \quad [\text{歩留まり率}] \div 1000) \end{aligned}$$

この計算式を基に算出された仮想水量は表1. 2のようになる。

表1. 2 畜産物の水消費原単位 (1998年の場合)

品 目	水消費原単位 (m ³ /t)	品 目	水消費原単位 (m ³ /t)
牛 肉 (枝 肉)	72,204	牛 肉 (正 肉)	96,798
豚 肉 (枝 肉)	5,593	豚 肉 (正 肉)	10,972
鶏 肉	4,470		

表1. 2より、牛肉の仮想水量は他の2品目と比較して極めて大きな値であることがわかる。これには生育期間の長さや、単位肉量あたりの消費飼料量が大きいこと、水消費原単位の高い小麦が、飼料中に占める割合が高いことが反映されていると考えられている。この水消費原単位を用いて、日本の畜産物輸入量に乗じて輸入相手国別畜産物仮想水を推定することができる。それによれば、アメリカ、オーストラリアの2国からの仮想水輸入が大半を占める結果となる。割合にして全体の約85%を占めている。

(4) 輸入に伴う仮想水フロー

農作物・畜産物・工業製品の3つの仮想水輸入量を合計して算出した日本の総仮想水輸入量は640億m³/年に達する。この数値は国内の年間灌漑水使用量590億m³/年よりも高く、国内の総水資源使用量870億m³/年の約3/4に匹敵している。特に、アメリ

カとオーストラリアの2国からのものが高く、2国だけで全体の総仮想水輸入量の約8割を占めている。これは、牛肉の輸入が寄与しているところが大きい。仮想水をとらえるうえで牛肉は重要な要素であるといえる。また、総仮想水輸入量を1人1日あたりに換算すると1,460m³の水を輸入していることになる。

このように仮想水を考えることにより、日本は多くの水資源を海外から輸入していることがわかる。また、日本への農作物、畜産物輸出のために必要な土地面積を算出してみると、日本の農地面積(1997年現在で430万ha)の4倍もの広さに匹敵する土地が使用されてるというデータもある。日本は、自国の食生活を維持していくために、海外の多くの水資源や土地に大きく依存している状態にある。日本は自国が水資源に恵まれた国であるがゆえに他国の水資源に目が向きにくい、仮想水について調べることにより、他国の水資源に目を向けてより世界的な

水資源の変動が及ぼす影響を考察することが重要であることがわかる。日本のように食糧や穀物などの製品の輸入を通じて海外の水資源に高く依存した生活をしている国こそが、世界的な水資源問題の解決についてより主体性を持つべきであるということになるであろう。

2. 授業実践

経済協力開発機構（OECD）のPISA調査においては、数学的リテラシーを「数学が世界で果たす役割を見つけ、理解し、現在及び将来の個人の生活、職業生活、友人や家族や親族の社会生活、建設的で関心をもった思慮深い市民としての生活において確実な数学的根拠にもとづき判断を行い、数学に携わる能力」と定義している。我々はPISA調査における学力観を踏まえて、仮想水を題材とし、仮想水の概念を用いて環境問題（特に水資源問題）について考える中学校数学科の授業を構想し、新潟県内の公立中学校において第1学年を対象とした授業実践をおこなった。

現在日本は水に恵まれた国と考えられていて、水問題に対する危機感を実感することが希薄である。しかし、仮想水について学ぶことによって、日本という国が実は他国の水資源に大きく依存した状態にあることを知ることができる。これによって生徒たちに、水問題について新しい視点から考えさせることができるようになることを考えた。また、いままで学校で学習してきた数学の力を生かし、日常生活と関係する場面で数学の役割を実感させられるような授業を目指した。具体的には、ハンバーガー1個に使われる水の量（仮想水量）を計算させるという活動を設定する。そして、そのハンバーガー1個に使われる水の量が実は1500ℓであるという意外な解答を生徒に示すことによって、水問題と授業への関心を高めると共に、仮想水の考え方を理解することができることを考えた。さらにレストランのメニューから各自が選んだ料理の仮想水量を計算する活動をおこなうことによって、数学が日常生活と密接に関わり、しかも持続可能な社会について考える上で役立つことを実感することができるようになることを考えた。

(1) 授業のテーマ

「仮想水の概念を学んで、環境問題について考えよう。」

(2) 授業の目標

- a) 新しい視点から水資源問題について考える「仮想水」の考え方を学ぶことにより、様々の分野が相互に関係する問題に対して数学が有効に活用できることを実感する。
- b) 身近な生活場面の中で「仮想水」の概念を適用する学習活動を通して、数理的な処理に親しみ、数学を生活に活かしていく方法について考える。

(3) 題材観と目標の設定理由

a) 仮想水という題材

仮想水とは、海外からの輸入品をもし日本で作っていたとしたら、どの程度水資源が必要であったかという水量の値である。仮想水を考えることによって、日本が世界のどの国や地域の水資源に頼っているかを、輸出入統計に基づいて考察し、水資源問題を数学的側面から捉えることができる。

b) 数学的リテラシーの育成

授業を通して、OECDのPISA調査における数学的リテラシーの育成を図ることを考えた。生活場面において、確実な数学的根拠に基づいて判断を行い、数学に携わる能力を育むような数学的活動を取り入れる。今回の授業実践は、次のような流れでおこなわれる。①生徒自身の生活となじみの深い対象であるハンバーガーを取り上げ、その製造過程や材料に注目することで、仮想水の概念を理解する。②自分が選んだ食事の仮想水量を計算により求める。③これらの学習を踏まえて、日本が抱える水問題について自分の考えを持つ。

c) 数学的活動の実践

新しい学習指導要領では、改善の基本方針において、「算数、数学科については、その課題を踏まえ、小・中・高等学校を通じて、発達の段階に応じ、算数的活動・数学的活動を一層充実させ、基礎的・基本的な知識・技能を確実に身に付け、数学的な思考力・表現力を育て、学ぶ意欲を高めるようにする」としている〔4〕。数学的活動とは、生徒が目的意識を持って主体的に取り組む数学にかかわりのあるさまざまな営みであるとされる。ここで、「数学にかかわりのある様々な営み」として中学校数学科において重視しているのは、①数や図形の性質などを見出す活動、②数学を利用する活動および、③数学的な表現を用いて説明し伝えあう活動である。今回の授業実践においては、②と③に焦点を当てて授業

を行う。

(4) 指導の構想

<1時間目>

活動A：水問題に関するアンケートに答える活動

導入として、水問題に関する生徒の意識を確認するアンケートをおこなう。これにより今回学習する授業内容に関して、生徒がどのような意識と準備を持っているかを確認する。次に、ハンバーガー1個が出来上がるまでに、どのくらいの量の水が必要か、問いかける。

活動B：ハンバーガー1個の仮想水量を求める活動

概念の定義だけでは分かりにくい仮想水を理解するための準備として、ハンバーガーの材料の生産過程を説明し、その過程を日本で行ったらどれくらいの水がかかるのかという考え方を段階的に説明する。

問題

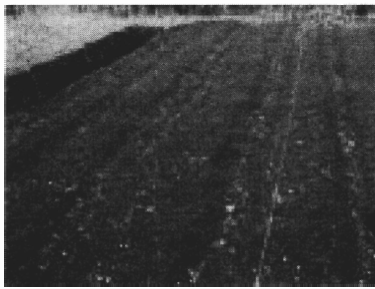
ハンバーガー1個ができるまでに、どのくらいの水が必要か？

次のなかから選んでください。

150 ml, 1.5 l, 15 l, 150 l, 1500 l

さらに、その水は、何をするために使用されるかを考えさせる。

まず小麦および牛肉を1kg生産するときに必要な水の量を求める活動をおこなう(図2.1, 図2.2)。これを基にハンバーガーの水使用量を求める活動を行う。



育てる過程で大量の水が使われている



小麦1kg生産するのに必要な水の量

①1日に必要な水の量(ℓ) ②育てる期間(日) ③収穫量(kg)

①×②÷③を計算すると

小麦1kgあたり2500ℓの水が使われることがわかる。

図2.1



図 2. 2

計算方法

- ハンバーガー 1 個 (100 g) には小麦 (30 g) と牛肉 (70 g) が必要.
- 小麦は 1 kg あたり 2500 ℓ, 牛肉は 1 kg あたり 20600 ℓ の水が必要.
- したがって, ハンバーガー 1 個には
小麦に: $2500 \times 30 / 1000 = 75 \text{ ℓ}$
牛肉に: $20600 \times 70 / 1000 = 1442 \text{ ℓ}$
の水が必要.
つまり, ハンバーガー 1 個には 1517 ℓ の水が使われている.

ここでの計算活動は, この後の授業展開にとって重要である.

活動 C: 仮想水 の概念を学習する活動

ハンバーガーに使う水の量から, 私たちは日常生活の中で大量に水を消費しているということを生徒に気づかせる. このことを基にして, 食糧を輸入することで同時に水も輸入しているということを認識させる. そして活動 B でおこなった計算をもとに, 仮想水 の概念について解説する.

- 小麦はアメリカから, 牛肉はオーストラリアから輸入されている.
- したがって, ハンバーガーに使われている水は日本の水ではない.
つまり日本にとってはヴァーチャル (仮想) の水. これが仮想水.
- このように輸入した農作物や畜産物に使われた水の量を考えることができるのが仮想水.
- 日本は年間 64 兆 ℓ の仮想水を消費している.

<2時間目>

活動D：レストランで食事をする場面を設定する。各自が表2. 1からメニューを選び、表2. 2に基づいて仮想水量を求める活動をおこなう。さらに自分の仮想水量と他者の仮想水量を比較する活動をおこなう。仮想水の概念の理解を踏まえて、水消費原単位を用いて各自が選んだメニューの仮想水量の値

を割合や比の考えをもとに算出することが狙いである。

活動E：仮想水の考え方に基づいて、水問題について考察する活動をおこなう。

活動Dに基づいて、視点を世界へと広げていく。食糧問題を取り上げ、日本の残飯量が年間700万トン

表2. 1 活動(D, 1)で用いるレストランのメニュー

☆ 各項目のメニューから1品ずつ選んでください。ただし、おかずに関しては、2品選ぶことができます。

○主食（この中から1品）

料理名	1人前の量	料理名	1人前の量
ごはん	150 g	パ　　ン	160 g
寿司	210 g	カレーライス	260 g
そば	300 g	ラーメン	300 g
うどん	300 g	牛　　丼	240 g
スパゲッティ	270 g	チャーハン	250 g

○おかず（この中から2品）

料理名	1人前の量	料理名	1人前の量
焼き魚	90 g	煮　　魚	90 g
ピ　　ザ	210 g	フライドポテト	190 g
焼肉(牛肉)	150 g	肉　　じゃが	200 g
焼肉(豚肉)	150 g	鳥の唐揚げ	150 g
サラダ	130 g	ステーキ	200 g
餃　　子	140 g	オムレツ	170 g

○スープ（この中から1品）

料理名	1人前の量	料理名	1人前の量
味噌汁	150 g	コーンポタージュ	150 g
ワンタンスープ	150 g	コンソメスープ	150 g

○デザート（この中から1品）

料理名	1人前の量	料理名	1人前の量
アイスクリーム	50 g	ケ　　キ	80 g
ゼ　　リー	50 g	ヨーグルト	50 g
杏仁豆腐	80 g	いちご大福	80 g

○飲み物（この中から1品）

料理名	1人前の量	料理名	1人前の量
オレンジジュース	1杯	レモンジュース	1杯
コ　　ー　　ヒー	1杯	紅　　茶	1杯
お　　茶	1杯	牛　　乳	1杯

表 2. 2 仮想水量の計算表

○主食

料理名	仮想水量 (ℓ/kg)	料理名	仮想水量 (ℓ/kg)
ご 飯	3700	パ ン	2500
寿 司	1600	カレールイス	4300
そ ば	4600	ラ ー メ ン	1100
う ど ん	1600	牛 丼	13400
スパゲッティ	2000	チャーハン	5500

○おかず

料理名	仮想水量 (ℓ/kg)	料理名	仮想水量 (ℓ/kg)
焼 き 魚	0	煮 魚	0
ピ ザ	5300	フライドポテト	170
焼 肉 (牛 肉)	20600	肉 じ ゃ が	3500
焼 肉 (豚 肉)	5900	鳥 の 唐 揚 げ	5100
サ ラ ダ	200	ス テ ー キ	20600
餃 子	3400	オ ム レ ッ	880

○スープ

料理名	仮想水量 (ℓ/kg)	料理名	仮想水量 (ℓ/kg)
味 噌 汁	390	コーンポタージュ	1400
ワンタンスープ	1500	コンソメスープ	9200

○デザート

料理名	仮想水量 (ℓ/kg)	料理名	仮想水量 (ℓ/kg)
アイスクリーム	2600	ケ ー キ	4500
ゼ リ ー	800	ヨーグルト	560
杏 仁 豆 腐	1500	いちご大福	1250

○飲み物

料理名	仮想水量 (ℓ/kg)	料理名	仮想水量 (ℓ/kg)
オレンジジュース	170	レモンジュース	150
コ ー ヒ ー	210	紅 茶	6
お 茶	13	牛 乳	110

にのぼることなどの資料をもとに、仮想水の考え方から、未来に起こり得る水問題について考える。自分なりの意見・感想を生徒に持たせることが狙いである。

(5) 評価規準

活動A：集計して分析をおこなう。

活動(B, 1)：ハンバーガーの水使用量に対して、予想や考えをまとめることができる。発言、学習プ

リントによる。(関心・意欲・態度)

(A) 「パンに使用する小麦粉の小麦を栽培するときには水が必要」、「牛を育てるのに水が必要」など、ハンバーガーの調理過程を越えた考えを述べることができる。

(B) 「パンを作るときに水を使う」、「ハンバーグを作るときに水を使う」など、ハンバーガーの調理過程に関する考えを述べるができる。

(Cへの支援) 数値を見て、感じたことを書くように促す。

活動(B, 2) : 割合や比を用いてハンバーガー1個の仮想水量を計算で求めることができる。学習プリントによる。(表現・処理)

- (A) 計算過程を明確にして、様々な方法で仮想水量を求めることができる。
- (B) 1つの方法だけで、仮想水量を求めることができる。
- (Cへの支援) 割合や比の考え方を説明する。

活動C : 小麦と牛肉を海外から輸入していることから、仮想水の概念を理解することができる。学習プリントによる。(知識・理解)

- (A) 小麦と牛肉の輸入国がどこかを主体的に考え、仮想水の概念を理解してまとめることができる。
- (B) 仮想水の概念を理解してまとめることができる。
- (Cへの支援) 仮想水の概念をプリントに写させる。

活動(D, 1) : 割合や比の考え方をを用いて、表2.1から選択したメニューの合計の仮想水量を求めることができる。学習プリントによる。(表現・処理)

- (A) 計算の過程を明確にし、それぞれのメニューの仮想水量と全体の仮想水量を求めることができる。
- (B) 計算の過程を示すことはできないが、例を基に仮想水量を求めることができる。
- (Cへの支援) 例を参考にして計算してみるように指導を行う。

活動(D, 2) : 自分の仮想水量と他者の仮想水量を比較し、さらに表2.2を検討することにより、自分の計算結果に対し考察することができる。学習プリントによる。(見方・考え方)

- (A) 自分の仮想水量を見て、「肉料理が多いから仮想水量が多くなってしまった。」など特徴や

他者との違いを具体的に考察することができる。

- (B) 自分の仮想水量を見て、「Aさんと比べて自分は仮想水量が多い」など、特徴や他者との違いを挙げるができる。
- (Cへの支援) 比べる観点を指摘する。

活動E : この授業での活動を通して、水問題に対して関心を持ち、考えを述べるができる。学習プリントによる。(表現・処理)

- (A) 授業で理解したことを基に、「日本は海外の水問題に大きく関係している」など水問題を意識し、自分の考えを述べるができる。
- (B) 「仮想水は水問題を考えるのに役立つ」など授業で理解したことを述べるができる。
- (Cへの支援) 活動Dプリントとデータに注目させて、分析を促す。

3. 授業の分析と考察

(1) 活動A

アンケートに対する回答と、質問「水資源問題について知っていることを書いてください」に対する回答は、それぞれ表3.1, 表3.2の通りである。また、問題「マクドナルドのハンバーガー1個ができるまでにどれくらいの水が使われているのでしょうか？」についての回答は、表3.3の通りであった。

日本は水に恵まれているが、世界に目を向けると水不足などの問題があると考えている生徒が多い。どのような問題があるのかは具体的にはわからないようであるが、アフリカ、飲み水、温暖化についての意見も出てきた。将来的にみると、自分自身も困るし世界も水問題で困ることがあると考えている生徒が半数以上に及んでいる。一方で例えば世界のどこかで水問題が起きたとしても自分が困ることはない

表3.1 アンケートの回答

質問番号	質問項目	はい	いいえ
1	水問題について考えたことはありますか？	8	30
2	水は自分の生活の中で必要不可欠だと思いますか？	37	1
3	日本は水に恵まれていると思いますか？	28	10
4	世界は水に恵まれていると思いますか？	9	29
5	将来、自分の生活で水に困ることはないと思いますか？	15	23
6	将来、世界は水問題で困ることはないと思いますか？	8	30

表3. 2 「水資源問題について知っていること」の回答

項目	人数
アフリカの水問題について	5人
飲み水について	3人
地球温暖化による水問題について	2人
水質汚濁について	2人
知らない、空白	26人

表3. 3 ハンバーガー1個に使われる水の量

選択肢	人数	割合
150ml	4人	11%
1.5ℓ	7人	19%
15ℓ	15人	40%
150ℓ	1人	3%
1500ℓ	7人	19%
未記入	3人	8%

と考えている生徒も少なくない。

「水資源問題について知っていることを自由に書いてください」について、書けている生徒が少なかった。より回答しやすい質問に変える必要があったかもしれない。また水問題だけに関する質問のみでなく、「数学が生活で役に立つかどうか」などの数学に関する質問も入れてもよかったかもしれない。

(2) 活動B

活動(B, 1): 「いったい、何に水1500ℓも使われるのでしょうか?」という問いに対しての回答は、表3. 4 のようであった。

ほとんどの生徒が「牛肉や小麦を育てるのに水が

表3. 4 1500ℓの水が何に使われるのか

牛肉や小麦を育てることに着目した回答	
小麦の栽培に使う	21人
牛の飲み水	23人
牛が食べる餌を育てるために使う	2人
野菜を育てるために使う	6人
作る人が飲む	1人
ハンバーガーを料理することに着目した回答	
野菜を洗う	2人
パンの生地を作る	5人
ハンバーグを作る	3人

必要である」などの、こちらのねらいに適った解答を書いていた。また、原料となる小麦にまで着目した生徒や、牛を育てる過程という細かいところまで考えている生徒が多く見られた。ただし、牛を育てるときに、牛が食べる餌となる穀物を育てるために水が必要であると答えられていた生徒はわずかに2人だけであった。牛が食べる餌を育てるときにも多くの水が必要になるという観点は、生徒にとっては気付きにくく、それを知ることは新しい発見につながるということが分かった。また、反省としては、意見を発表してもらった際、一人ひとりの意見について解説せずに、最後にまとめて行ってしまったために、生徒の理解を遅らせてしまったことが挙げられる。その原因としては、生徒が考えるための時間を取りすぎて、発表のための時間が削られてしまったことが挙げられる。さらに小麦と牛肉についての説明の際に、一方的に説明するだけの時間が長くなってしまった。生徒に問いかけながら授業を進め、生徒どうしのやり取りを活発にさせることが必要であったと考える。

活動(B, 2): a) 「小麦に使われる水の量を求めよう」の活動について

ハンバーガー1個分のパンに必要な水の量を求める計算に関し、次のような1~9の方法が見られた。

その1: $2500 \times 0.03 = 75$ (23人)

まず頭のなかで $30 \div 1000$ または $30g = 0.03kg$ をおこなったと考えられる。

その2: $2500/1000 = 5/2$, $30 \times 5/2 = 75$ (1人)

まず、1kgにどれくらい水がかかるのかを求め、30をかける方法である。

その3: $1kg = 1000g$, $2500 \div 1000 = 2.5$, $2.5 \times 30 = 75$ (6人)

$1kg = 1000g$ の説明をしたあと、その2と同じ。

その4: $1kg = 1000g$, $30 \div 1000 = 0.03$, $2500 \div 0.03 = 75$ (1人)

$1kg = 1000g$ の説明をして、あとはその1とおなじ。

その5: $2500 \times 30 = 75000$, $75000 \div 1000 = 75$ (1人)

まず、分子のほうを計算して、それから割り算をしている。

その6: $25 \times 3 = 75$ (1人)

計算を書く前に0をすべて取り払って計算したと考えられる。

その7: $2500 \times 30 / 1000 = 2500 \times 3 / 100 = 75$ (3人)

分数で計算をしている。まず、30の0を消してから2500の0を消している。

その8： 2500×0.03 (30/1000) = 75 (2人)

計算はその1と同じだが、注意書きとして30/1000をしている。

その9： $2500 \times 30/1000$, $2500 \times 0.03 = 75$ (2人)

計算方法はその8とはほぼ同じ。式を2つにして書いているところが特徴。

b) 「牛肉に使われている水の量を調べよう」の活動について

ハンバーガー1個分の牛肉に必要な水の量を求める計算に関し、次の1～9の方法があった。

その1： $20600 \times 0.07 = 1442$ (28人)

まず頭で $70 \div 1000$ または $70 \text{ g} = 0.07 \text{ kg}$ を、おこなったと考えられる。

その2： $20600/1000 = 103/5$, $103/5 \times 70 = 1442$ (1人)

1gにどれくらい水がかかるのかを求めて、70gをかける方法。

その3： $1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$, $20600 \div 1000 = 20.6$, $20.6 \times 70 = 1442$ (1人)

1kg=1000gの説明をしたあと、その2と類似の方法。

その4： $1 \text{ kg} = 1000 \text{ g}$, $70 \div 1000 = 0.07$, $20600 \div 0.07 = 1442$ (1人)

1kg=1000gの説明のあと、その1とおなじ。

その5： $20600 \times 70 = 1442000$, $1442 \div 1000 = 1442$ (1人)

まず、分子のほうを計算して、それから割り算をしている。

その6： $206 \times 7 = 1442$ (2人)

計算をおこなう前に0をすべて取り払って、それから計算する方法。

その7： $20600/1 \times 70/1000 = 20600/1 \times 7/100 = 1442/1 = 1442$ (2人)

分数で計算をしている。まず、70の0を消してから20600の十の位までの0を消している。

20600を20600/1としているところが特徴。分母分子を区別している。

その8： 20600×0.07 (70/1000) = 1442 (1人)

計算はその1と同じだが、注意書きとして30/1000をしている。

その9： $20600 \times 7/100 = 1442$ (1人)

分数による計算方法。

c) 計算方法について

我々は比例を使って計算を行う生徒がいることを期待していたが、残念ながらそのような生徒は見受けられなかった。我々は、比例は今回の実践を行う前に勉強していたはずなので、比例を用いて計算を行えると予想していたのである。生徒に「比例も使えるんだよ」という働きかけを行ったが、比例式を使おうとはしなかった。それは比例式を知らないと言う訳ではなかったはずである。このことは、まだ生徒は比例を、計算するための方法として自分のものにしていないからだと考えられる。我々は、「勉強したばかりだからまだ頭にあり、それも方法の1つとして使用できるだろう」と考えたが、新しいことを勉強した後別の場面においてそれがすぐに使えるわけではなく、計算練習や応用演習をおこない、理解を定着させなければいけないのだと考えられる。

大半の生徒が(その1)の計算方法を行っていた。我々の事前の予想では、割合を使って計算をするのだから分数で計算を行う考え、それを指導案に書いた。しかし実際は、小数の掛け算で答えを導き出す生徒が大半であった。これは生徒に与えた情報に原因があったのではないかと考えられる。生徒に与えられる情報は、①材料1kgにかかる水(ℓ/kg)と②ハンバーガー1個に使われる材料(g)である。ここで中学生の計算方法を予想してみると、まず②の「g」を「kg」に直さなければいけない。生徒たちは、計算の過程を簡単にするというを優先しているのではないかと考えられる。つまり、「どのように計算をすれば自分の中で想像しやすいのか」ということである。そう考えると、分数を使わずにgをkgにするという考えや、計算式を2つないし3つに分けるという考え方も頷ける訳である。

(3) 活動C

ここでの活動は、仮想水の考え方を説明することの他に日本全体の水の年間総使用量と仮想水量の比較を通して日本は仮想水輸入に依存している国であることを生徒に感じ取らせるというねらいがあった。しかし実際の授業では時間の都合上、年間総使用量と仮想水量の比較は割愛せざるを得なかった。活動Eでは世界の水問題や日本の食糧廃棄について取り上げるが、この活動を行なわなかったことで活動Eでの実感が薄れてしまったのではないかと思う。授業の時間配分の不備が活動C、そして授業全体に影響することになってしまった。

(4) 活動D

ここでの活動は、自分の選択したメニューの仮想水量を計算することである。生徒は、5種類のメニューを選択しているのので、5回計算をおこなわなければならない。そのときに用いた計算方法は、生徒38人中29人が小数による計算であった。また、5人が割合による計算で、4人がその他の方法を用いていた。小数による計算を用いる生徒が多かった理由としては、1時間目の活動で少数による説明をしたことが挙げられる。時間の都合上、この方法でしか説明を行えず、比を用いた方法などを説明できなかったことが影響していると思われる。次の表3.5は、計算別による、5問全問正答できた人数と、1問以上間違えた人数との関係を表している。

小数計算を行った29人のうち12人は正しく答えを求めることができなかった。この背景としては、計算過程において小数点の移動のミスや、筆算を行うときの繰り上がりミスなどが多かったためである。一方、割合計算において不正解となった2人に関しては、立式の段階で数値を間違っていることが原因

であり、その計算過程においては、計算ミスをしてはいなかった。次の表3.6は、生徒全体がおこなった計算総数のうち計算方法別にまとめたものである。

小数による計算回数が多かったため、正解数も多くなり、正解率も高くなっている。割合の計算に関しては、正解率が85%になっているが、計算過程において計算ミスがあったのは1個であったため、結果的に割合の計算の方が、正確に求められていたことになる。

また、活動Dでは計算活動の他に「みんなで比べよう」と題して結果を見て気づいたことを書く活動をおこなった。これは自分の結果や他者との比較を通して自分の仮想水の特徴などを考えさせるねらいがあったが、実際には「結果を見て気づいたことを書こう」という欄には記述が少なかった。原因として考えられることは計算活動に時間がとられてしまったことと、活動を促すための働きかけが欠けていたことである。また、計算活動は、班活動の形でおこなったのであるが、一つの班に1人のアシスタントを付けるべきだったことも反省点として挙げられる。

表3.5 計算方法と正解者数

	小数計算人数	割合計算人数	その他
計算方法人数	29	5	4
全問正解者数	17	3	0
不正解者数	12	2	4
正答者率	59%	60%	0%

表3.6 方法別計算数と正解数

	小数計算回数	割合計算回数	その他	全体
計算数	143	27	13	183
正解数	127	23	7	157
不正解数	16	4	6	26
正解率	89%	85%	54%	86%

(5) 活動E

活動Eは今回の授業を締めくくる活動である。ここでのねらいは、「この授業での活動を通して、水問題に関心を持ち、考えを述べることができる。」である。また、授業全体の目標として「様々な分野が相互に関係する問題に対して数学が有効に活用できることを実感する」ということがある。これらの点に関して授業の最後に生徒にまとめさせた「今日

のまとめ」から考察していく。

①今日の授業を通して水問題に対する意識は変わりましたか？

- ・水を大切に使い、無駄遣いしない。
- ・できるだけ食べ物を残さない。
- ・必要な分だけ使うようにすればよい。
- ・水がどれだけ大切か知ることができた。

- ・水問題を深刻に考えるようになった。
- ・水に対する考え方が変わった。

②その他、今日の授業の感想。

- ・楽しかった。
- ・世界で水不足に悩む国がたくさんあると分かり、その国を助けたいと思った。
- ・他の国はとても水に困っていることが分かった。
- ・自分が知らない間にたくさんの水を無駄に使っていることが分かった。
- ・水がどれだけ大切か知ることができた。
- ・日本は水に恵まれていると思った。
- ・食べ物に多くの水を使っているのは驚いた。
- ・ふだん数学でできないことができてよかった。
- ・数学じゃない気がした。
- ・計算が難しかった。

①で特に多かった意見は「食べ物を残さない」、「水を無駄遣いしない」というものである。食べ物を残さないという意見が多かったのは、授業全体を通して食糧の仮想水について触れ、さらに最後の資料が食糧廃棄についての資料であったことが理由であると考えられる。また、「水に対する考え方が変わった」、「水問題を深刻に考えるようになった」など、水問題に対する意識の変化が見られた。

②で特に多かった意見は「楽しかった」、「おもしろかった」などの感想である。今回の授業に対して意欲的に取り組んでくれた生徒が多かった。その他にも「食べ物に多くの水を使っているのは驚いた」などの感想があった。また少数であるが、「ふだん数学でできないことができてよかった」、あるいは「数学じゃない気がした」などの感想を述べる生徒もいた。

この結果を踏まえて活動Aのアンケートの結果と

比較してみよう。「将来、世界は水問題で困ることはないと思いますか?」に対していいえと回答する生徒が大多数であることから、水問題に対して漠然とした不安を持つ生徒が多いと考えられる。しかし、「水問題について考えたことはありますか?」に対していいえと回答する生徒が大多数であったことや、「水資源問題について知っていることを自由に書いてください」に対して空白の生徒が大多数であったことから、水問題に対して具体的な考えや関心を持っているわけではないと考えられる。それと比較して「今日のまとめ」では、明確に「水問題に対する考え方が変わった」と回答する生徒は少なかったものの、水問題に対して自分ができると思うことを述べる生徒が多く、この授業のねらいの「この授業での活動を通して、水問題に関心を持ち、考えを述べるができる」はそれなりに達成できたものと考えられる。しかし、授業全体の目標の「様々な分野が相互に関係する問題に対して数学が有効に活用できることを実感する」に対しては、「今日のまとめ」からは読み取ることができなかった。確かに「ふだん数学でできないことができてよかった」と回答する生徒もいたがそれは極少数である。一方で「計算が難しかった」、「数学じゃない気がした」と回答する生徒もいた。環境問題と数学を上手く結びつけることはなかなか難しく、今後さらに検討を加えていかなければならないと考える。授業全体を通してみると、教えなければならない内容が多く、「問題を数学を用いて解く」ことよりも「仮想水の概念を説明する」ことの方に重点があった。

「今日の授業を通して水問題に対する意識は変わりましたか?」に対する回答は、表3.7のようであった。また授業の感想をまとめると表3.8のようになる。

表3.7 意識の変化

意識の変化	人数	自分たちにできること	人数
変わった.	5	食べ残しをしない.	23
変わらない.	1	水を大切にする. 無駄遣いをしない.	19
不明	32	なし	1
		未回答	2

表 3. 8 授業の感想

授業内容に関する回答	人数
楽しかった. おもしろかった.	14
仮想水について知ることができた. 等	7
水を大切にしよう.	5
日本は水に恵まれていると思った.	2
勉強になった. 勉強してよかった.	2
その他, 世界で水不足に悩んでいる国々がたくさんあることが分かり, その国を助けたいと思った. 等	5
数学に関する回答	人数
ふだんの数学の授業でできないことがやれてよかった.	2
数学じゃない気がした.	1
計算や問題が難しかった.	2

(6) まとめ

仮想水は環境問題を考える上での1つの指標である。生徒にとって、環境問題と数学とは今までは結びつかなかったように思われる。しかし、視点を換えることにより環境問題を考える上で数学が様々に利用されているということが分かったのではないだろうか。今回研究した仮想水では、物品の生産に消費する水の量やそれらの輸出入量を調べることで、水が世界でどの程度輸出入されているのかということの数値化することができる。そして具体的なデータを用いて水資源問題を考えることができるという点が重要な点である。さらに水消費原単位を用いることで私たちの生活では実際にどれだけの水が消費されているのかということまで調べることも可能である。こうした例を考えると環境問題と数学は密接に結びついているということを実感することができるだろう。また、環境問題に限らず、私たちの気づかないところでも、社会のあらゆる事項に数学は関係している。今回の授業実践では生徒にそのことに気づかせるといことも重要なテーマであった。そして、数学の新たな一面を知ることで数学を学ぶ意欲もさらに高めることにつながるのではないだろうか。今回のテーマは数学教育を考える上で非常に有用なテーマであると実証することができたと思う。実際に授業を行ってみると、計算活動で生徒たちは思いのほか苦勞していた。計算活動で詰まった場合の働きかけのための準備が足りていなかったことや、授業全体の計算活動の比重の置き方がその原因であることは確かであるがそれだけではないように感じられる。普段の数学の学習においては、「方程

式の利用」のような応用のための小単元があるが、この場合には、まず単元の大枠である方程式についての学習をおこなっている。すると生徒たちは自然に、この問題は方程式を使えばよい、と考えるのではないだろうか。今回の計算活動ではその大枠がなく、問題を解決するためにどの単元で学習したことを使えばいいのかが不透明だったことになる。このことが計算活動に苦勞した原因ではないかと思われる。今回の授業実践を通して、今後の数学教育では、問題解決において数学を用いる力を身に付けさせることが課題であると考え。しかし生徒たちは、我々がおこなった2時間の授業に意欲的に取り組んでくれた。この授業を通して、生徒たちが新しいことを知る喜びを実感することができた意義は大きいと考える。

参考文献・資料

1. 国立教育政策研究所編 (2002) 『生きるための知識と技能 OECD 生徒の学習到達度調査 (PISA)』, ぎょうせい
2. 国立教育政策研究所編 (2004) 『生きるための知識と技能 2 OECD 生徒の学習到達度調査 (PISA)』, ぎょうせい
3. 国立教育政策研究所編 (2007) 『生きるための知識と技能 3 OECD 生徒の学習到達度調査 (PISA)』, ぎょうせい
4. 文部科学省 (2008) 『中学校学習指導要領解説 数学編』, 教育出版

5. 文部科学省 (2008) 『中学校学習指導要領解説 総則編』, ぎょうせい
6. ドミニク・S・ライチェン, ローラ・H・サルガニク編 (2006) 『キー・コンピテンシー 国際標準の学力をめざして』, 明石書店
7. 垣水修, 瀬野大吾, 大面幸子, 笹崎俊, 甫仮南欧美, 阪中典子 (2007) 「問題解決能力と表現力を育む中学校数学の授業に関する実践的研究」, 『新潟大学教育人間科学部紀要 (自然科学編)』 Vol.10, 1-12
8. 垣水修, 泉田悠貴, 加賀谷かおり, 藤崎直子, 松浦康平, 金澤茉衣子 (2008) 「キー・コンピテンシーの概念に基づいた考える力を育む中学校数学科の授業」, 『新潟大学教育学部研究紀要 (自然科学編)』 Vol.1, 1-12
9. 垣水修, 伊東健司, 大久保隼, 神崎直利, 小菅彩香, 柴田真奈美 (2009) 「エコロジカル・フットプリントを教材に用いた中学校数学科の授業」, 『新潟大学教育学部研究紀要 (自然科学編)』 Vol.2, 13-26
10. 垣水修 (2009) 「ネットワーク型データ解析による中学校における学力調査の分析—PISAの問題を活用して—」, 『全国数学教育学会誌 数学教育学研究』 Vol.15, 77-88
11. 垣水修 (2009) 「数学の活用における抽象性の意義」, 全国数学教育学第30回研究発表会原稿
12. A.Allan, (1999) “Water stress and global mitigation: water, food and trade”, *Arid Lands Newsletter*, Issue no. 45
13. 沖大幹 (2003) 「世界の水危機, 日本の水問題」, <http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/Info/Press200207/>
14. 三宅基文, 沖大幹, 虫明功臣 (2002) 「日本を中心とした仮想水の輸出入」, 第6回水資源に関するシンポジウム論文集
15. 嘉田由紀子編 (2003) 『水をめぐる人と自然』, 有斐閣
16. United Nations Division for Sustainable Development - Agenda 21, <http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/>
17. 『生きている地球レポート2006』, http://www.wwf.or.jp/activity/lib/lpr/lpr2006_j.pdf