

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

Lessons of Junior High School Mathematics Which Used Ecological Footprints as Teaching Materials

垣水 修・伊東 健司・大久保 隼
神崎 直利・小菅 彩香・柴田真奈美

Osamu KAKIMIZU, Kenji ITO, Hayato OKUBO
Naoto KANZAKI, Ayaka KOSUGE and Manami SHIBATA

0. はじめに

知識の内容は、すでに終了し、解決され、確実にあると考えられているところのものであるが、しかし知識が関係する先は未来である。それゆえ知識は、現在進行中の出来事や、これから起ころうとしていることを理解し、それに意味を与える方法を提供することができる。一方でリテラシーという語は、伝統的には社会生活の中で最小限必要とされる機能としての読み書き能力を表すものとして用いられてきたが、経済協力開発機構（OECD）による生徒の学習到達度調査（PISA）においては、リテラシーは教科領域の横断的な概念として捉えられており、読解力、数学的リテラシー、科学的リテラシーおよび問題解決能力が取り上げられている。このように近年では、リテラシーの概念はカリキュラムの内容に焦点化した排他的なものから、知識を振り返り、個人的な目標を達成し、社会への適切な参加をおこなう能力として考えられるようになって来ている。さらにOECDはDeSeCo（Definition and Selection of Competencies: Theoretical and Conceptual Foundations）プロジェクトにより、国際化と高度情報化によって多様性を増した、複雑な社会への適合を踏まえて、「キー・コンピテンシー」（key competencies for a successful life and a well-functioning society）の概念を提案している [5]。

DeSeCoプロジェクトは、様々な国際調査や生徒の能力についての幅広い分析をおこない、「人生の成功と正常に機能する社会・持続可能な発展」のための根幹を築く能力を明らかにしようとするものである。キー・コンピテンシーの概念は、次のような三つの基準に基づいて選択されている。

- 1) 社会および個人にとって価値ある結果をもたらすこと。経済的、社会的な有用性。
- 2) 多様な状況において、重要な課題に直面したとき適応を助けること。人生の多様な領域に渡る判断能力。
- 3) 特定の専門家や特定の産業、職業、社会階層のみではなく、全ての人にとって重要であること。

キー・コンピテンシーは、個人が生活の複数の領域を横断的にまたがって、うまく対処し、参加することを可能にすることを目指すものである。一方で正常に機能する社会の特質として、「生態学的持続可能性」が挙げられる。「環境と開発に関する国際連合会議」（1992年）において採択された行動綱領「アジェンダ21」では、前文 [11] において次のように述べられている。「人類は歴史上の決定的な瞬間に立たされている。我々の幸福を保証している生態系は絶えることのない不均衡に直面している。しかしながら環境と開発を統合し、これにより大きな関心を払うことにより、人間の生存にとって基本的なニーズを充足させ、生活水準の向上を図り、生態

系の保護と管理を改善し、'安全でより繁栄する未来へつなげることができる。'本稿では、「エコロジカル・フットプリント」を用いた中学校数学科の授業について考察する。エコロジカル・フットプリント(ecological footprint)とは、地球の環境容量を表す指標であり、人間活動が環境に与える負荷を、資源の再生産性および廃棄物の浄化に必要な土地面積として表すものである。生活を維持するために必要な一人当たりの陸地および水域の面積として示されることが多い。この概念を理解し、その有効性についての認識を深めることは、数学における概念形成および概念認識の問題として重要である。それはまた数学の活用に関する興味深い事例であり、さらに数学が他の領域と横断的に交わるとき、どのような創造性が発揮されるかを示すものとして注目に値するものでもある。我々はエコロジカル・フットプリントを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。エコロジカル・フットプリントに関する学習について考察をおこなうことで、「環境問題を考えるために必要とされる学力とはどのようなものであるか」という、今まであまり考察されることのなかった問題に検討を加えることができる。我々はこのような基盤に立つことで、子供たちの知識や情報を相互作用的に活用する力を育み、大きな展望の中で活動する力を育てていくことができると考える。

1. 環境問題を考えるための学力について

環境問題に関するテーマを中学校数学科の学習課程に積極的に取り入れていこうとする理論的な根拠は、PISAの学力観に関する考察と、PISAの調査問題を用いた学力調査に関する以下に述べるような分析結果に求めることができる。PISAの本調査は、国際的になされた極めて大規模な調査であるが、本稿の筆者の一人垣本は、新潟大学人文社会・教育科学系プロジェクトの一環として、附属中学校において3年次の生徒を対象とする、PISA調査の問題を用いた学力調査をおこない、その結果に対して<ネットワーク型データ解析>による精緻な分析をおこなった[10]。そこで得られた主要な分析結果をまとめると次のようになる。

1) 領域間の関連性においては、数学的リテラシー、科学的リテラシー、問題解決能力の3領域は、その

どの2つも互いに結びつきが強く、とりわけ数学的リテラシーと科学的リテラシーの相互関連性が最も高い。それと比べて、読解力と他の3領域との相互関連性はどれも比較的弱いと言える。

2) 数学的リテラシーや科学的リテラシーにおいて、読解力が基本的で重要な役割を果たすことはしばしば主張されることではあるが、領域間の相互情報量の、領域のエントロピーに対する割合に関する分析から、読解力に加えて数学や科学に固有の概念などの内容的な理解が大きな比重を占めることが確認された。

3) 3領域間の相互情報量を求めることにより、3つの領域に共通する要素の多少について調べることができる。数学的リテラシー、科学的リテラシー、問題解決能力の3領域が共通する要素・能力が多く、次が数学リテラシー、科学リテラシー、読解力の3領域に共通する要素である。

4) 4領域間の相互情報量を求めることにより、4つの領域すべてに共通するような要素はほとんどないという結果を得た。

5) 個々の問題間の相互関連性については、この調査で用いた問題に関しては、数学リテラシーの「歩行」と「りんご園」、および科学リテラシーの「オゾン」の問題が、他の多くの問題と相互関連性を有していることが分かった。逆に、数学リテラシーの「サイコロ」と読解力の「ランニングシューズ」の問題は、他の問題との関連性をあまり持っていない。

6) 各問題と各領域との相互情報量を調べることにより、数学的リテラシーの各問題と科学的リテラシー領域、および科学的リテラシーの各問題と数学的リテラシー領域との関連性の高さが確認された。また読解力においては、「チャド湖」は他の問題との関連性が高いが、「ランニングシューズ」は、他の問題との関連性をあまり持たないという、対照的な結果を得た。

以上の結果から、問題全体、領域全体を通して次のことが言えると考えられる。

パズル的な要素の多い問題は、他の問題および他の領域との関連性をあまり持たない。一方で、それと対極的な、例えば何らかの意味で“環境問題”と関係するような問題は、内容的にもそれを理解するための能力の点でも、互いに関連しあっている。

このことから、PISA調査の結果を基にPISA型の学力の育成を取り入れ、カリキュラムおよび授業の改善に活かしていくためには、次のような方針が考えられる：

- a) 環境問題と関係するような他の領域との関連性が高い問題や課題を取り上げて、PISA型学力の育成を図ることが重要である。
- b) PISAの問題においては他の問題や領域との関連性が低かった要素に関して、それらを互いに関連付けよう、新しい問題や課題の開発に取り組むことが求められる。

論文[10]においては、領域間の相互関連性、問題間の相互関連性および各問題と領域間の相互関連性に関する分析と考察をおこなった。これによりネットワーク型データ解析を用いたPISA調査の分析には様々の新しい可能性があることを示すことができた。PISAの本調査の分析結果は報告書[1]、[2]、[3]において精細に論じられているが、ここでは、「習熟度レベル」、「領域」（さらにその年の主要な調査領域では分野ごとに）、「国別による国際比較」、「経年変化」、「男女差」等の観点から分析がなされている。例としては、2003年の調査においては、数学的リテラシーが調査の中心となる領域であったが、数学リテラシーはさらに4つの分野「量」、「空間と形」、「変化と関係」、「不確実性」に分けられ、また得点によって生徒の習熟度を7段階に分け、数学リテラシー全体および各分野に対して各レベルの生徒の割合を、各国別に示して分析をおこなっている。

上記のような論文[10]における分析結果から、環境問題と関連するテーマを用いて領域横断的な学習を多角的におこなうことが、PISA型学力を育成していくために有効であると考えられる。逆に環境問題について考えるためには、多角的で領域横断的な知識と能力が必要となるであろう。エコロジカル・フットプリントの概念は、複数の領域にまたがる問題意識と、それらに關係する知識を、数学を用いてまとめあげ課題を明確にするためのものである。このような形で数学的な思考を働かせることは“数学の活用”と捉えることができるが、それは数学が環境問題を構成する複数の領域と横断的に交わることで、環境問題を認識するための新しい概念を創造するという点で、最も高次のレベルにおける活用であるといえることができる。また、エコロジカル・フットプリントを具体的に計算し、さらにその計算結果

を基に考察を進めていくためには、知識や情報を相互作用的に活用する能力が必要である。個人は知識や情報にアクセスするだけでなく、それらを効果的に、思慮深く責任を持って活用する必要がある。PISAにおいては科学的リテラシーを、「自然界および人間の活動によって起こる自然界の変化について理解し、意思決定するために、科学的知識を使用し、課題を明確にし、証拠に基づく結論を導き出す能力」と定義している。環境問題について考察するうえで、情報能力は、選択肢を理解し、意見を形成し、意思決定をおこない、賢明で責任ある行動をとるための土台として必要不可欠なものである。

以上のような観点から、我々はエコロジカル・フットプリントを題材とした中学校数学科の授業を構想し、授業実践をおこなった。第2節ではエコロジカル・フットプリントに関する基本的な考え方について解説し、第3節では授業の構想と内容を詳しく述べて、実践結果の分析をおこなう。

2. エコロジカル・フットプリント

エコロジカル・フットプリントとは、「ある特定の地域の経済活動、またはある特定の物質水準の生活を営む人々の消費活動を永続的に支えるために必要とされる生産可能な土地および水域面積の合計」と定義される。この指標は、生物学的な生産力と比較することによって、持続可能な利用ができていないか、あるいは需要過剰（オーバーシュート）となっているかを明らかにすることができるものである。世界自然保護基金（WWF）は、1998年から環境問題に関する報告書である『生きている地球レポート』を隔年ごとに発行してきた。『生きている地球レポート2006』[12]においては、世界の生物多様性の変化の状態と、人類による自然資源の消費の結果生じる生物圏への圧力について報告されているが、後者はエコロジカル・フットプリントを用いた分析がおこなわれている。その結果「1980年代後半以来、人類は超過の状態にある。2003年の時点では約25パーセントの超過であった。自然が廃棄物を資源に変えるよりも早いペースで、人間は資源を廃棄物に変えている」という結論に達している。以下この節では[6]、[7]、[12]等に基づいて、エコロジカル・フットプリントに関する基本的な考え方について要約し、計算例を与える。

(1) 持続可能性

持続可能な開発には様々な定義が存在するが、広く受け入れられている定義には、次の三点の共通の原則がある。

- a) 人間の生活の質は、財とサービスに加え、心地よい暮らしの場所も提供してくれるような健全で生産的な環境があるかどうかにかかっている。
- b) 貧困層のニーズを満たし、世界中すべての人に最低でも基本的な生活の質を保証しなければならない。
- c) 将来世代も、世界の資源を利用する機会を、現代世代と同様に得られるべきである。

これらの原則を踏まえ、持続可能な開発の最も実用的で役立つ定義の一つが、「支えとなる生態系の容量の中で暮らしながら、生活の質を向上させること」というものである。持続可能な社会を作るためには、生活の質を保証することと、自然の限界の中で暮らすことの二つの相反する目標が生む根本的な軋轢のバランスをとらなければならない。持続可能な開発を実現できるかどうかには、生活の質と環境面の政策とをうまく統合させることが重要である。どの時点を超えると自然資本が保護されるよりも、消耗されることが多くなるかを定義する必要がある。この問題に関しては、多くの方法で取り組まれているが、自然の資力を測る一つの方法として、「エコロジカル・フットプリント」を用いることで、地球の環境収容量と消費量とを比較することが出来るようになる。

(2) 持続可能性の指標

持続可能な開発に向けてどれだけ進んだかを知るには、持続可能性の要素について、これらを定義するだけでなく、測定する必要がある。そしてその測定した結果を簡単に利用するために、優れた指標が必要となる。優れた指標の条件として次の3点が挙げられる。

- a) 明快かつ簡単に意味が読みとれること。
- b) 指標を導くデータが包括的であり、信憑性があること。また指標作成方法については、できるだけ透明性が高いこと。
- c) 指標の利用者の影響が及ぶ範囲内にある問題が反映されており、利用者が変化を起こしたり

促したりすることができること。

持続可能性の測定方法として、様々なものが提示されているが、その中の一つとして例えばライフサイクル分析(LCA)がある。ライフサイクル分析とは、製品や製造プロセスが環境にどのような影響を与えるかを評価する手法としてよく利用されるものの一つであるが、製品の一生(ライフサイクル)を通して関わってくるすべてのエネルギー、資源、廃棄物を詳細に示すものである。ライフサイクル分析の長所としては、環境負荷について詳細にわたる説明があることであり、短所としては情報の規格化が遅れていることや累積的な影響を考慮していないことなどが挙げられている。本稿で取り上げるエコロジカル・フットプリントは、持続可能性の測定方法として考えられた環境負荷の総量を示す指標である。

(3) エコロジカル・フットプリントの概念

エコロジカル・フットプリントとは、人類の地球に対する需要を、資源の供給と廃棄物の吸収に必要な生物学的生産性のある陸地・海洋の面積で現したものである。その前提条件として以下の二点がある。

- a) 資源の消費量と廃棄物の発生量を、適度な正確さを持って推計することが可能。
- b) 資源と廃棄物の流量は、資源を消費し廃棄物を排出するのに必要とされる生物生産力のある土地に換算することが可能。

また、土地面積で表わされる土地は次の7つに分類される。

- ① 耕作地：最も生産力の大きな土地。通常は穀物や根茎や豆類等の主食を育てる土地。
- ② 牧草地：主に牛などの放牧を行う土地。
- ③ 森林地：木製品を産出できるような自然林や人工林。
- ④ 生物生産力のある海域：地球の表面積の360億haが海である。
- ⑤ 生産力阻害地域：道路や建物などの開発事業によって生産力がほぼ失われた土地。
- ⑥ エネルギー地：エネルギー需要を持続可能な方法で満たすのに必要とされる土地。
- ⑦ 生物多様性保全地：人間以外の生き物を守るための土地であり、少なくとも全体の12%が必要で

あると考えられている。

これらのうち①から④までが、生物生産力のある土地にあたる。また、地球上の生態学的生産力のある陸地・海域の面積を世界人口で割って、一人当たりどれだけ利用できるかを示した平均値を公平割当て面積という。土地区分ごとの生産力に応じた評価をおこなうために等価係数を用いる。等価係数は世界平均の生物生産力を持つ土地面積に換算するための係数である。例えば、生物阻害地域は等価係数の値が高く海域は低いが、これは生物阻害地域が質のいい土地に作られ、少しの面積でも大きな負荷を与えることを示し、海域は多くの面積を使用したとしても地球への負荷が少ないことを示している。

『生きている地球レポート2006』[12]によれば、2003年、世界全体のエコロジカル・フットプリントは141億グローバル・ヘクタールであり、一人当たりでは2.2グローバル・ヘクタールであった。ここで、1グローバル・ヘクタールとは、世界平均の資源生産力と廃棄物吸収力がある土地1ヘクタールに相当する。これに対し、2003年時点の総供給、すなわち世界中の生産可能面積（生物生産力）の合計は112億グローバル・ヘクタールであり、一人あたりでは1.8グローバル・ヘクタールであった。

エコロジカル・フットプリントの計算方法には、コンパウンド法（合計値利用法）とコンポーネント法（部分積み上げ法）がある。コンパウンド法とは、貿易の流れとエネルギーをもとに消費量を算出し、全体の合計値からフットプリントを算出する方法である。一方、コンポーネント法は特定の活動におけるエコロジカル・フットプリントの値を、該当地域に対応するデータを用いて算出する計算方法である。それぞれに長所と短所があるため、その特性を理解して状況によって使い分ける必要がある。コンポーネント法の長所は分析結果を使って情報交換がしやすく、教育の素材として利用しやすいという点であり、短所は、データのばらつきと信頼度の問題により、国レベルや国際レベルで比較する際に問題が生じる点である。一方、コンパウンド法の長所は、簡単に再現でき、国レベルで相対的な比較ができることや、得られるデータが詳細なものなので地球全体の人為的影響の大きさを大まかに示すことができ、間接的な影響を把握するのに適している点である。短所としては、資源の消費量をどの活動で使われたかに関係なく捉えるため、特定の資源消費や廃棄物発生をもたらす活動を区別することが難しいという

点があげられる。

（４）エコロジカル・フットプリントの計算例

例１．新潟県における米のエコロジカル・フットプリント（平成17年度の場合に、[13]を基に計算）

日本人1人あたりの米消費量は、年間約61kgである。また新潟県における平成17年度の米の収穫量は、65万2200tであり、米の作付面積は、121,000haであった。したがって、1ha当りの米の平均収量は、 $5.3900826 \text{ t/ha} = 5390.0826 \text{ kg/ha}$ となる。新潟県の人口は、2,431,495人であることから、一人当たりの米の消費量を生産力のある土地に換算すると、 $61/5390.0826 = 0.0113171 \text{ (ha)}$ になる。これをさらに、耕作地の等価係数2.83を用いて世界平均の生物生産力のある土地面積へ換算すれば、 $0.0113171 \times 2.83 = 0.032027 \text{ (ha)}$ となる。

例２．チョコレートのエコロジカル・フットプリント（資料[14],[15],[16],[17],[18]を基に計算）

（a）カカオ38000tの生産に必要なエコロジカル・フットプリント（コートジボワール）

生産規模：1haあたり0.6tの収穫が得られることから、1tあたりに必要とされる土地面積は、1.66haとなる。これからカカオ38000tの生産に必要な土地面積は、

$$38000 \times 1.66 \times 2.83 = 178516.4 \text{ (ha)}$$

である。ここで、2.83は耕作地の等価係数である。

（b）カカオ38000tの加工、梱包、輸送に必要なエコロジカル・フットプリント

① 38000tの加工に必要なエネルギー

焙煎等において二酸化炭素が19630t発生する。二酸化炭素固定率は、0.52kg当たり1㎡であることから3775haの土地が必要となる。これをさらに、エネルギー地の等価係数1.17を用いて世界平均の生物生産力のある土地面積へ換算すれば、 $3775 \times 1.17 = 4417 \text{ ha}$ を得る。

② 輸送に必要なエネルギー

カカオは、船によってガーナから日本まで輸送しなければならない。輸送距離は、13646kmである。船舶で1000tの貨物を1kmの距離を輸送するときのエコロジカル・フットプリントは、0.01haである。したがって38000tのカカオを13646km輸送するためのエコロジカル・フットプリントは、5185.48haと

なる。

③ 梱包に必要なエネルギー

(i) ダンボール10080 t

原紙の製造に関するLCA：390kg/t
(二酸化炭素排出量)
製造過程のLCA：163kg/t
(二酸化炭素排出量)

これから二酸化炭素の総排出量は $(390+163) \times 10080 \times 1.17 = 6521860.8$ (kg), すなわち, 6521.86 t である。したがって, これだけの二酸化炭素を固定するために必要な土地面積は, $6521.86 \div 5.2$ (二酸化炭素固定率) = 1254.20ha である。

(ii) プラスティック 3150 t

製造過程のLCA：1860kg/t
(二酸化炭素排出量)

これから二酸化炭素の総排出量は $1860 \times 3150 \times 1.17 = 6855030$ (kg), すなわち 6855.03 t である。したがって二酸化炭素を固定するために必要な土地面積は $6855.03 \div 5.2$ (二酸化炭素固定率) = 1318.28 (ha) である。以上から, カカオ38000 t の生産, 加工, 梱包, 輸送に関するエコロジカル・フットプリントは, 上記の土地面積を合計することにより, 190691.36ha となる。

(c) 日本におけるチョコレートのエコロジカル・フットプリント

チョコレートの国内生産量は217800 t であり, 輸入量は, 19550 t, 輸出量は, 2204 t であることから, 国内消費量 = 国内生産量 + 輸入量 - 輸出量 = 235146 t である。b) の結果を用いることにより, チョコレートの国内消費量に対するエコロジカル・フットプリントは, 1180008.2ha となる。

3. 授業実践

平成20年3月に告示された「新学習指導要領」においては, 21世紀を知識基盤社会として位置づけ, 「異なる文化や文明との共存や国際協力の必要性を増大させている」という認識に基づいて改訂がおこなわれた[4]。一方で「OECDのPISA調査などの各種の調査からは, わが国の児童生徒については, 思考力・判断力・表現力等を問う読解力や記述式問題, 知識・技能を活用する問題に課題が見られる」ことから, この課題を踏まえて小学校算数科, 中・高等学校数学科の改善の基本方針としては, 「数学

的な思考力・表現力は, 合理的, 論理的に考えを進めるとともに, 互いの知的なコミュニケーションを図るために重要な役割を果たすものである。根拠を明らかにして筋道を立てて体系的に考えることや, 言葉や数, 式, 図, 表, グラフなどの相互の関連を理解し, それらを適切に用いて問題を解決したり, 自分の考えを分かりやすく説明したり, 互いに自分の考えを表現し伝え合ったりすることなどの指導を充実する」ことが重要であるとしている。環境問題は, 様々な分野の知識が互いに関係しあう領域である。数学的なアプローチをおこなうことで見通しがよくなるテーマを採り上げて, 環境問題に関する学習を, 学習課程に活かしていくことが重要である。「エコロジカル・フットプリント」をテーマに取り上げることにより, 地球全体に関する環境問題に対して, 数学的な考え方がどのように役立つかを具体的に示すことができるような授業を提案することが可能になる。

(1) 授業テーマ

「エコロジカル・フットプリントを用いて, 環境問題を考えよう」

(2) 授業の目標

- エコロジカル・フットプリントの考え方を学ぶことにより, 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。
- 身近な生活場面にエコロジカル・フットプリントを適用する活動を通して, 数理的な処理に親しみ, 分析結果を生活に活かす方法について考える。

(3) 題材観, 目標の設定理由

- 数学的リテラシーの育成
PISA調査における数学的リテラシーとは, 「数学が世界で果たす役割を見つけ, 理解し, 現在および将来の個人の生活, 職業生活, 友人や家族や親族との社会生活, 建設的で関心を持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基づき判断を行い, 数学に携わる能力」であると定義されている。急速に変化し, 複雑さを増していく今日の社会に対応するため, 個人は複雑な状況のなかで大量の情報に基づいて数学的技術を活用する力が必要とされている。今回の授業実践は, 次のような流れでおこなわれる。①エコロジカル・フットプリントという新しい概念の意味を理解すること。②エコロジカル・フットプリントを用いて, 日常生活の中の活動

や消費を「土地面積」という数値で表すこと。③数値の読み取りとその分析をおこない、分析結果を日常生活に活かす方法を考えること。

b) 数学的活動の実践

新しい学習指導要領は、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・技能を確実に身につけ、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。

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様々な営みである。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及び、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に焦点を当てて指導を行う。

中教審答申においては、学びとその指導にかかわって、「習得」、「活用」、「探求」のいずれもが強調され、それらが数学的活動を通して位置付けられるべきであるとしている。今回の授業実践においては、エコロジカル・フットプリントという新たな題材を生徒が「習得」し、それを日常生活に「活用」し、そのような数学的活動を通してエコロジカル・フットプリントという概念の環境問題を考える上での有

効性について「探求」することをねらいとする。

(4) 指導の構想

<1時間目>

活動A：イースター島の崩壊～小さな地球～

イースター島の崩壊の原因についての次のような文章の読解とそれを考察する活動を通して、自然や資源を計画的に利用しなければならないという認識と、自然・資源の利用に関する計量的な指標の必要性に生徒を導くねらいがある。

「1000年前、木々に覆われた豊かな森の大地であるイースター島に人間が移住を始めた。イースター島は面積約180平方キロメートル（佐渡の約5分の1の面積）の、絶海の孤島であり、最も近い島でも東北東に415kmも離れている。イースター島に移住した人々は農業や漁業を中心に生活をしていたため、カヌーを作るための木材や、広大な畑を必要とした。長い年月をかけ、イースター島の人口は、7000人にもなったと言われている。その生活のため木の伐採が進み森林が減少。そして農地は荒れ果てた。木材の不足からカヌーが生産できなくなり、飢餓が発生した。また資源や土地をめぐる戦争が起こり、その結果、島の人口は100人ほどになってしまった。」

活動B：オレンジジュースと自動車のエコロジカル・フットプリントの算出

定義だけでは分かりにくいエコロジカル・フット

計算例（オレンジジュース）

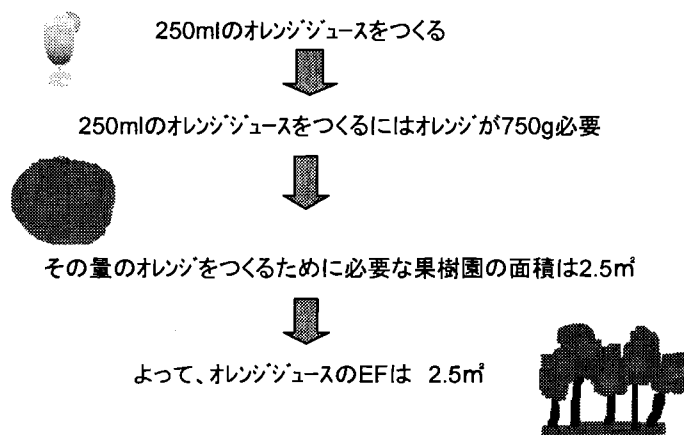


図3.1 オレンジジュースのエコロジカル・フットプリント

計算例（交通）

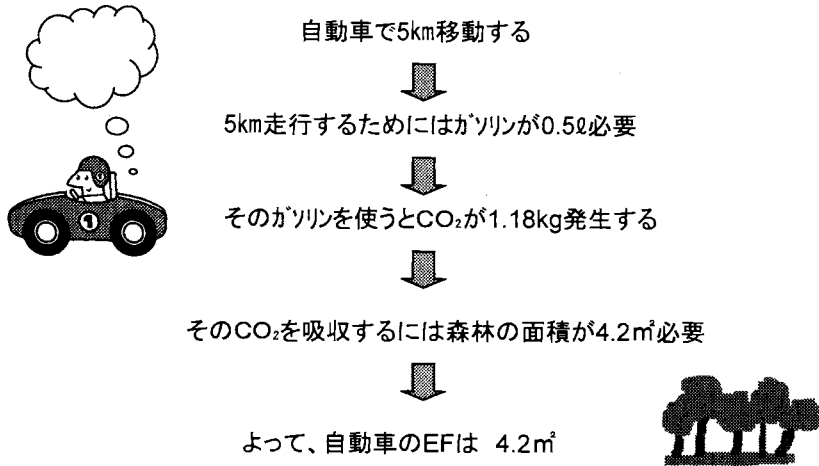


図3. 2 交通に関するエコロジカル・フットプリント

プリントの概念を学ぶため、オレンジジュースと自動車という具体例を用いて土地面積へ換算することのイメージを形成する場を設定する（図3. 1, 図3. 2）。物から土地面積へ変換していくには、その間にそれを媒介するもの（オレンジ、二酸化炭素等）を考えることが必要であることを示すとともに、生徒が具体的な計算練習をする場面も設定し、計算に慣れ親しむねらいがある。

活動Bで挙げた食料や交通を含めた様々な要素についてのエコロジカル・フットプリントの経年変化を表した表・グラフを提示し、その変化の様子や要素ごとの変化の違いを読み取る活動を行う（表3. 3, 図3. 4）。エコロジカル・フットプリントによって様々な要素を共通単位で表すことができるということ、それを合計し、積み重ねることによって1人のエコロジカル・フットプリントを導くことができることを理解させるねらいがある。

<2時間目>

活動C：様々な要素についてのエコロジカル・フットプリントの経年変化を表・グラフを用いて読み取る活動

表3. 3 構成要素別にみるエコロジカル・フットプリント（単位は10億ha）

	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2003
植 物 類	1.79	1.98	1.97	2.16	2.42	2.65	2.76	2.96	3.07
魚 介 類	0.49	0.63	0.66	0.67	0.76	0.8	0.88	0.93	0.93
肉 類	0.41	0.44	0.49	0.5	0.55	0.65	0.77	0.85	0.91
住 ま い	0.3	0.44	0.56	0.68	0.76	0.89	0.95	1.07	1.15
木 材	1.15	1.19	1.19	1.3	1.37	1.49	1.36	1.44	1.43
交 通	0.31	0.55	0.75	0.93	0.98	1.13	1.21	1.34	1.48
電 気	0.42	0.76	1.08	1.39	1.59	1.92	2.09	2.35	2.54
産 業	0.54	0.94	1.3	1.61	1.69	1.96	2.09	2.32	2.55

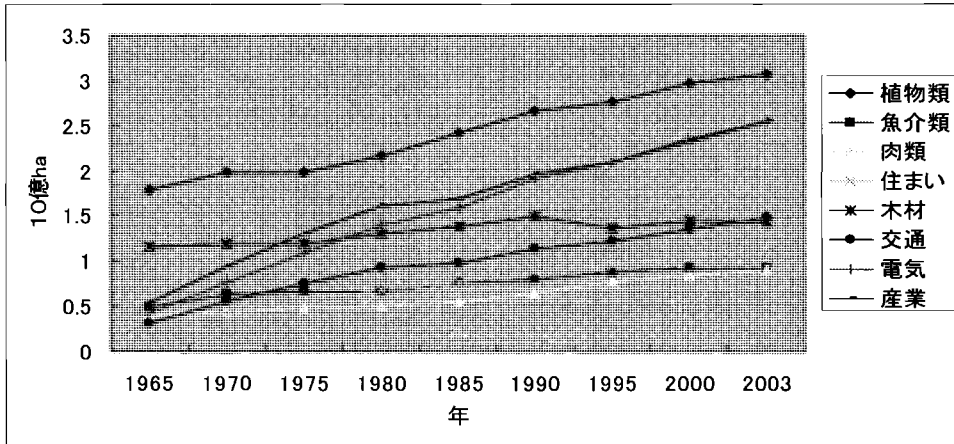


図3.4 構成要素別にみるエコロジカル・フットプリント

活動D：自分の生活のシミュレーションをおこない、そのエコロジカル・フットプリントを求める活動

エコロジカル・フットプリントの概念の理解を踏まえて、各自の生活におけるエコロジカル・フットプリントを計算する場を設定する。日常生活の様々な活動をエコロジカル・フットプリントに換算し、それらの合計で自分自身の生活のエコロジカル・フットプリントが算出できることを実感させるねらいがある。

活動E：各自のエコロジカル・フットプリントを棒グラフに表し、その比較を通して自分の生活の特徴をつかむ活動

活動Dで算出したエコロジカル・フットプリントの数値を棒グラフで表すことにより、他者との比較、実際の許容面積との比較や要素ごとの比較をする活動をおこなう。また、比較を通して、自分の生活を分析し、特徴を理解するというねらいがある。

活動F：シミュレーションの選択を1つだけ変更する活動

活動Dでのシミュレーションの選択を1つだけ変更し、自分のエコロジカル・フットプリントを減らすにはどうすればよいか考える活動をおこなう。活動Eでの分析を活かし、自分なりの根拠をもって変更させる欄をワークシートに設けることで、論述力を育てるねらいがある。また、変更を1つに限定し、

生徒が分析結果の数値の特徴に着目し、それを吟味することによって変更ができるようにする。

(5) 評価規準

活動A：テキストを自分なりに熟考し、考えをまとめることができる。

(A) 「島の資源を考えていなかったこと」、「無計画だったこと」、「輸入ができなかったこと」などテキストを自分なりに熟考し、考えをまとめた記述。

(B) 「カヌーを作りすぎたこと」、「戦争をしたこと」など、テキストの記述をそのまま、または言い換えた程度の記述。

(Cへの支援) テキストの大切な部分にマーキングさせる。

活動B：土地面積で表すエコロジカル・フットプリントの概念を理解するとともに、基本的な例においてエコロジカル・フットプリントの計算をすることができる。

(A) 具体物を原料、土地面積へと置き換えることを理解し、その考えを用いてエコロジカル・フットプリントを求めることができる。

(B) 具体物を原料、土地面積に置き換えられることが理解できる。

(Cへの支援) 土地面積で表す利点を示しながら、理解を促す。

活動C：エコロジカル・フットプリントの経年変化の様子を、表やグラフを用いて分析することができる。

- (A) 「グラフの傾きが急になっているから、この要素は年々急増している」、「表から□年と△年で○倍の差になっていることがわかる」など、表やグラフを有効に活用して記述している。
- (B) 「なんとなく増えてきている」、「だいたい○倍に見える」など、表やグラフを根拠に記述することができるができていない。
- (Cへの支援) 漠然とグラフを見るのではなく、注目する視点(要素, 年)を指示する。

活動D：比や割合の考え方を用いて、選択した要素のエコロジカル・フットプリントを求めることができる。

- (A) 計算の過程を明確にしながら、それぞれの要素および全体のエコロジカル・フットプリントの値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、例に従いエコロジカル・フットプリントの値を求めることができる。
- (Cへの支援) 具体的な例を用いて比や割合の考え方を活用できるように支援する。

活動E：グラフの読み取りを通して、エコロジカル・フットプリントの値を分析することができる。

- (A) 自分のエコロジカル・フットプリントの値をグラフに表し、「○○さんは食事で魚介類を多く選んでいるので、自分より食事のエコロジカル・フットプリントの値が大きい」など、他のものとの違いを、理由を付けて述べるができる。
- (B) 自分のエコロジカル・フットプリントの値をグラフに表し、「○○さんは自分より食事のエコロジカル・フットプリントが大きい」など、他のものとの違いを単純に述べるができる。
- (Cへの支援) グラフで表すことの利便性を考えさせる。グラフの特徴のヒントを与える。

活動F：自分のエコロジカル・フットプリントの数値を読み取り、根拠をもって変更することができる。

- (A) 数値を的確に読み取り「レジャーやサービスで贅沢をしたからエコロジカル・フットプリン

- トが大きい」など根拠も述べるができる。
- (B) 数値の読み取りが今一步で、「グループで一番エコロジカル・フットプリントが小さかったから良かった」など根拠が不十分である。
- (Cへの支援) 活動Eのグラフに注目させ、分析を促す。

(6) 生徒の回答とその考察

- a) 「イースター島の人たちは、何がいけなかったのだらう」に対する回答
- ・森林を伐採しすぎた・カヌーを作りすぎた・植樹しなかった(10人)
 - ・資源や土地をめぐって戦争を起してしまった(9人)
 - ・他国と貿易がなかった・しなかった(7人)
 - ・自然を大切にできなかった(5人)
 - ・森林や農地について考えていなかった・計画的に上地、自然を使っていなかった(5人)
 - ・人口に対し自然が少なかった(4人)
 - ・住む島をもっと考えるべきだった。イースター島に移住してきたこと(4人)等

A評価は17人、B評価は8人であった。またメモ欄に意見を記入した生徒は、25人中8人であった。A評価の回答では「島の自然や資源について考えて利用しなかった」、「貿易(輸入)をしなかったこと」が大半であった。B評価の回答では「戦争したこと」、「森林を伐採しすぎたこと」が大半で、「イースター島に住んだこと」などもあった。半数以上の生徒が島の自然や資源の利用の仕方がいけなかったということを読み取れていた。「自然や資源の利用」について意識させることができたので、エコロジカル・フットプリントの導入として有効であったと考えられる。

メモ欄の記述に関しては、時間が不足していたことから、25人中8人しか書かれていなかった。「地球や日本も多くのエコロジカル・フットプリントを利用している」、「このままではイースター島のようにになってしまう」など、今の地球の状況はよくないという危機感を持ったり、感じたりしたという内容であった。これらの生徒に関しては、イースター島が“小さな地球”と呼ばれることの意味を理解してくれたと感じさせる記述であった。

- b) 「表やグラフの読み取りをして、気づいたことを書こう」に関する回答

- ・植物類の消費が年々増えている。
- ・40年近くで、全要素が増加している。
- ・肉類、魚介類、住まい、木材はあまり増加していない。
- ・産業、電気、交通が急激に増加している。
- ・年々エコロジカル・フットプリントが全体的に増えてきている。
- ・植物類が一番多い。
- ・産業と電気が1965年に比べると約5倍、6倍になっている。
- ・木材の使用は年によって増えたり、減ったりしているが、そのほかはだんだん増えてきている。
- ・肉類は他のものに比べて増えが少ない。等

表3.5 回答の個数別の生徒数

評 価	B		A		
	1	2	3	4	5
回答の個数	1	2	3	4	5
人 数	6	10	5	1	1

評価は複数回答したものをA、1つのみのものをBとした(表3.5)。1つ回答を書くことで満足している生徒もいたため、様々な点に生徒が気づけるような支援が必要であった。またグラフと表の双方に目を向けさせる工夫が必要であった。片方にばかり注目するのではなく、双方を比べる活動ができるよう支援することが重要である。

c) 「計算結果やグラフから分かるあなたの生活の特徴はなんですか」に対する回答

- ① 買い物・レジャーが多い。(10人)
- ② 食事が少ない。(3人)
- ③ 車の影響で大きくなった。(2人)
- ④ 日本人の平均と比べたら小さい。(7人)
- ⑤ 世界と比べたら大きい。(10人)
- ⑥ 実際の土地より多く使っている。(5人)
- ⑦ 消費量が多い。エネルギーを多く使っている。(3人)

①, ②, ③は、グラフの要素に注目した分析ができていと考えられる。④, ⑤, ⑥は、グラフ全体の値と他の値(世界平均や日本平均)を比べた分析ができていと言えるが、⑦は漠然とした分析にとどまっている。授業のねらいでは、①, ②, ③のような分析をして、それをもとに次の質問につなげて

いく構想であったが、結果は④, ⑤, ⑥のような記述が多かった。生徒をグラフに注目させるあまり、その値が本来エコロジカル・フットプリントを示す値であるということを見失わせていたことも問題点として挙げられる。

- d) 「環境への負荷を小さくするために、項目を1つ変更してみよう」に対する回答
- ショッピング：「買い物が多かったから」、雑誌にすれば少しは減るから」等(12人)
- レジャー：「別に見なくていい」、「プリクラなどにすると少なくなる」等(5人)
- 交通：「二酸化炭素出すから環境にも悪いし、すぐにかえられるから」等(4人)
- 食事：「全体的に多いから」、「そんなに食べなくてもやっていける」等(3人)
- 生活：「テレビを消すだけでもだいぶ変わると思ったから」等(2人)

変化の度合いが大きいショッピングやレジャーを変更した生徒が多くいたが、他の要素についても自分なりに理由を考えて変更している生徒がいたことは評価に値することである。しかし、理由が欠けているものや不十分なものもあったので、質問c)との対応や、グラフとの対応にもっと注目させる必要があったと考えられる。

e) 「授業の内容は、分かりやすかったですか」に対する回答

分かりやすいと答えた生徒が14人、普通と答えた生徒が12人、分かりにくいと答えた生徒は0人であった。授業の進行としては、予定していた内容をほぼ指導できたと考えているが、特に後半は駆け足で進行した部分があったので、生徒がグラフを分析する時間や記述する時間を削ってしまったことは反省しなければならない点である。また、自由記述欄に「最後に全体的な質問コーナーがあるとよかった」という意見があったが、このような全体的な質問を受け付ける場面があれば、もっと生徒のエコロジカル・フットプリントの概念に対する理解が深まったであろうと思われる。

- f) 「エコロジカル・フットプリントについてどう思いますか」に対する回答
- ・自分の生活の悪いところや、直したほうが良いところがある。

- ・環境への意識が高まる。
- ・エコロジカル・フットプリントで普段比べられないものなどを比べて見ると、自分の生活などを見直すことができるので、よいと思った。
- ・これからどんどん減らせるといいなあと思った。
- ・世界と日本を比べたり、自分の生活は比べるとどうなのかなどと簡単に知ることができたりする。日本が危ないことがよく分かった。
- ・発展途上国と先進国の違いを知りたい。
- ・世界の人々にこれを説明することによって、エコを呼びかけることができると思う。
- ・もっといろいろなものをエコロジカル・フットプリントで調べれば、どうすれば負荷が小さくなるのかわかる。
- ・役に立つと思う。土地面積に全て直して比較ができるのでとても良いと思います。
- ・環境の負荷を見つけてなくしたりするのに役立つ。
- ・というか、数学の授業じゃない気がする。
- ・おもしろく、なおかつ環境について学んだ。
- ・もっと、へらしていくために、生活を見直せる。
- ・グラフにしてみるとすごい分かりやすかった。
- ・使い方をもっと知りたい。
- ・はじめてのことで難しかったけど、もっとエコロジカル・フットプリントについて知りたい。
- ・新しい視点で生活を見直せた。
- ・エコロジカル・フットプリントをみんなが知って、環境について考えるようになったらいいと思う。
- ・一見比べづらいものでも比べることができるので役に立つと思う。等

短い時間の中でありながら、生徒たちは多くの感想を記述してくれた。生徒にとってエコロジカル・フットプリントは新鮮な考え方であり、それを便利だ、すごい、もっと知りたいなどと素直に感じてくれたことを読み取ることができる。また、共通単位としてのエコロジカル・フットプリントの有効性についても実感できている生徒がいたことは大きな収穫であると言える。

(7) まとめ

本稿において提案した授業「エコロジカル・フットプリントを用いて、環境問題を考えよう」は、『中学校学習指導要領解説 数学編』[4]において示されている次のような改善の基本方針に合致するような授業を旨としたものである。

- a) 数学的な思考力・表現力を育成するための指導内容や活動を具体的に示す。
- b) 言葉や数、式、図、表、グラフなどの相互の関連を理解し、それらを適切に用いて問題を解決したり、自分の考えを分かりやすく説明したり、互いに自分の考えを表現し伝えあう指導を充実する。

さらに新学習指導要領においては、新領域として「資料の活用」が新設されたが、この領域に関し、「資料に基づいて集団の傾向や特徴をとらえ、それをもとに判断すること」が重視されるべきである。第1学年では、①資料を収集、整理する場合には、目的に応じた適切で能率的な資料の集め方や、合理的な処理の仕方が重要であること、②ヒストグラムや代表値などについて理解し、それらを用いて資料の傾向を捉え説明することを通して、資料の読み取りができるようにすること、の2つの内容の指導が挙げられている。今回の研究授業では、①に関する指導としては、「自分自身のエコロジカル・フットプリントを求める」という課題に対して、我々があらかじめ準備した資料をもとにしてシミュレーションをしながら、複数の項目からデータを引き、割合や比の考え方を活かして自分のエコロジカル・フットプリントを求め、それを帯グラフに表すという活動をおこなった。しかし②の内容に関しては、今後更なる改善が必要であろう。研究授業において、自分のエコロジカル・フットプリントを分析する時間を2時間目後半部分で設けたが、分析を様々な角度から十分におこなうまでには至らなかった。仲間のものとは比べたり、世界平均、日本平均、実際の面積と比べたりする活動だけでは、自分の求めたエコロジカル・フットプリントが示す特徴について理解しきれないということが、今回の研究授業の分析から示されたといえる。次回以降の授業実践における改善点として、各自が求めたエコロジカル・フットプリントの特徴を分析するために、それぞれが計算したエコロジカル・フットプリントのデータを収集し、度数分布表やヒストグラムで表す活動をおこなうことが挙げられる。ヒストグラムを用いることで、資料の分布の様子を捉えることができ、自分のエコロジカル・フットプリントがクラス全体でどこに位置づけられるのか具体的に理解できるようになる。さらに、平均値、中央値、最頻値などの求め方を指導し、それを用いてグラフの特徴を数学的に考えさせる活動も取り入れていくことが望ましい。

数学的活動とは、「生徒が目的意識をもって主体

的に取り組む数学にかかわりのある様々な営みである」と定義されている。「4」では「数学的活動と数学を学ぶことの意義」において、次のように述べられている。

「数学的活動の過程では、何を考え、どのように感じているのか、自分自身と向き合わなければならない。自分自身の言葉で着想や思考を表すことにより、自分の考えを再認識することができる。この自己内対話の過程は、他者とのコミュニケーションによって一層促進され、考えを質的に高める可能性を広げてくれる。説明し伝え合う活動における他者とのかわりかは、一人では気付かなかった新しい視点をもたらす、根拠を明らかにし、筋道立てて説明する必要性を生み出す。そして、数学的な知識および技能、数学的な表現のよさを実感する機会が生まれる。」

エコロジカル・フットプリントという題材は、まさにこの数学的活動を行うのに適した題材であるといえる。既習の比や割合という考え方をを用いて数値を計算できるという点、日常生活においても話題に上がることの多い環境問題について考察をおこなっている点、グラフなどで数値を表して仲間と比較することができる点など、いずれも数学的活動の意図に沿うものになっているといえる。このことは、エコロジカル・フットプリントという題材や、環境問題に関連したテーマを学習課程に取り入れていくことが、中学校数学科の改訂の要点として挙げられている「事象を数理的に考察し表現する能力を高めること」や「活用して考えたり判断したりしようとする態度を育てること」に有効に機能するであろうことを示している。物事を数理的に考察する過程やその成果についての認識は、表現することによって深められていく。また、数学を活用しようとする態度を育てることは、数学の学習に主体的に取り組むことにつながる。

学習コンピテンシーは、「自分自身の学習についてどれだけわかっているか知ること」を求めるものであり、勇気を持って探求し、熱心に学ぶことを必要とする。社会的コンピテンシーは、一緒に働くこと、他の人々を指導し支えること、他の人々から指導と支持を求めること、および異なった文化的背景を持った人々を理解し協力することにつながるものである。どうしたらコンピテンシーを発達させ、強化することができるだろうか。学習の内容が個人に

とって意味のあるものであり、様々な状況で直面する問題に対応できる適応性を向上させるものであること、短期記憶よりも深い学習に結びつけていくこと、動機づけや自立性を強化していくことが重要になる。様々な地球規模の課題や問題に取り組むことは、一連のキー・コンピテンシーの構築にとってきわめて有用であるといえる。大きな展望の中で行動することは、個人がその行動やふるまいにおいて一貫性を育て、築き、維持することを必要とし、またそれを可能にしていくであろう。

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. 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
6. マティース・ワケナゲル, ウィリアム・リース (2004) 『エコロジカル・フットプリント: 地球環境持続のための実践プランニング・ツール』, 合同出版
7. ニッキー・チェンバース, クレイグ・シモンズ, マティース・ワケナゲル (2005) 『エコロジカル・フットプリントの活用: 地球1コ分の暮らしへ』, インターシフト・合同出版
8. 垣水修, 瀬野大吾, 大面幸子, 笹崎俊, 雨俣南歐美, 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
9. 垣水修, 泉田悠貴, 加賀谷かおり, 藤崎直子, 松浦康平, 金澤茉莉子 (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

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. United Nations Division for Sustainable Development - Agenda 21,
<http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/>
12. 『生きている地球レポート2006』,
http://www.wwf.or.jp/activity/lib/lpr/lpr2006_j.pdf
13. 農林水産省 グラフと統計で見る農林水産業—新潟県,
<http://www.tdb.maff.go.jp/machimura/map2/15/economy.html>
14. ロッテ環境報告書 (2003),
<http://www.ecosearch.jp/pdfdata/lote0400.pdf>
15. 日本チョコレート・ココア協会,
<http://www.chocolate-cocoa.com/> - 14k
16. フードマイレージキャンペーン,
<http://www.food-mileage.com/> - 5k
17. 包装用緩衝材のLCA研究報告書,
<http://www.jbmia.or.jp/~tc/rep-lca-tanaka-F.pdf>
18. プラスティック処理促進協会,
<http://www.pwmi.or.jp/home.htm> - 18k