

高校生が挑む「●●をうまく決めて ■■を最小に」

吉瀬 章子

本稿では、筑波大学システム情報系社会工学域における研究グループ（大澤義明，山本芳嗣，繁野麻衣子，八森正泰，吉瀬章子）が過去3年間取り組んできた，高校生が最適化モデリングを体験する高大連携プロジェクトについて，その概要と詳細，具体的な取組例を紹介したのち，プロジェクトの意義ならびに今後の課題について述べる。

キーワード：高大連携，最適化モデリング，混合整数計画問題，高校数学カリキュラム

1. はじめに

本稿では，筑波大学システム情報系社会工学域における研究グループ（大澤義明，山本芳嗣，繁野麻衣子，八森正泰，吉瀬章子）が取り組んできた，最適化モデリングを目的とする高大連携プロジェクトを紹介する。

高大連携とは，高校と大学が連携して行う教育活動を意味し，1999年に中央教育審議会が大学と高校を通じた全体教育の必要性を訴える答申を出したことを機として，現在では全国的に普及している[1]。筑波大学においても高大連携活動を積極的に推進しており，本プロジェクトを含めて，それらは「高大連携の部屋」[2]としてデータベース化されている。

本プロジェクトは，科学技術振興機構が支援する「サイエンス・パートナー・プロジェクト」[3]の一環として，茨城県教育委員会と同県立高校のご協力により，2009年度から毎年実施しており，高校生が住む地域や日常生活から問題を発見し，最適化モデルとソルバーを利用して解決法を提案，さらに提案の妥当性を検討する一連のプロセスを体験してもらうことを目的としている。以下では，本プロジェクトの概要と詳細，具体的な取組例を紹介したのち，本プロジェクトの意義ならびに今後の課題について述べる。

なお，本プロジェクトの全貌は例年報告書としてまとめ，各所に配布している¹。

2. プロジェクトの概要

本プロジェクトの本来の目的は，高校生に数理モデ

ルを用いた問題発見と解決の体験をしてもらうことであり，そのモデルとして最適化モデル（混合整数計画モデル）に限定することは必ずしも好ましいことではない。しかし後述するように，最適化モデルとそのソルバーの利用は，高校の数学カリキュラムと親和性が高く，上記の目的に至る第一歩として大変に適している。さらに短期間かつ限られたスタッフで取り組むとなると，モデルの多様性におのずと限界が生じてくる。お叱りを受けることは重々承知しつつも，現在も「最適化モデリング」に限定して事業を行っている。

しかし最適化モデリングに限定しても，このモデルを全く知らない高校生に「最適化モデルになる問題を発見してください」と依頼することはできない。初年度は，参加高校の先生方に集まっていたが，事前にモデルの説明を行ったが，「高校生にどう説明すればよいかわからない」とのご意見を多数いただいた。そこで，なぞかけのスタイルをまねて，「『●●をうまく決めて■■を最小（あるいは最大）にしたい』あるいは『●●をうまく決めたい』という形で，皆さんの地域の問題を見つけてください」と依頼することにした。幸いにこの形式は高校の先生方にもよくご理解をいただいております。「家にある家電の使い方をうまく決めて電気料金を最小にしたい」など，最適化モデリングにふさわしい問題を見つけていただいている。

この「問題提起」プロセスを含めて，本プロジェクトは以下の五つのプロセスから成り立っている。

プロセス1：問題提起 6月に各高校に出張講義に出

よしせ あきこ
筑波大学大学院システム情報工学研究科
〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

¹ 高校生の個人名等を含むため一般公開はしていない。ご覧になりたい場合はお手数ですが，筆者までご連絡ください。

かけ、最適化モデルの説明を行い、地域（自治体・学校・近所・家庭など）の問題を『●●をうまく決めて■■を最小（あるいは最大）にしたい』あるいは『●●をうまく決めたい』という形式で提起するよう依頼、その結果を、8月上旬に筑波大学で行う合宿の2週間前までにメールで連絡してもらう。

プロセス 2：モデル化 提起された問題から「最適化モデル」を抽出する。各高校2名のティーチング・アシスタント（以下「TA」と略）が、事前に十分に内容を検討したうえで、合宿を通して高校生と議論しながら、基本となるモデルを構築する。

プロセス 3：求解 抽出した最適化問題を FICO Xpress ソルバーで求解する。各高校にソルバーをインストールした PC を渡し、合宿中にプログラミングを学習する。

プロセス 4：解の検討 合宿では、基本モデルの求解までを行うが、この時点で問題が解決することはほとんどない。求めた解の不十分な点を検討し、合宿終了後、必要なデータを収集し、モデルを改良する。この支援のため、TA は各高校を数回訪問する。

プロセス 5：提言 以上の結果を提言にまとめ、10月に行われる最終発表会で発表を行う。

以上をイベント順に並べると、

出張講義	プロセス 1, 2, 3 の説明
筑波大合宿まで	プロセス 1 の実施
筑波大合宿	プロセス 2, 3 の実施
最終発表会まで	プロセス 4 の実施
最終発表会	プロセス 5 の実施

となる。以下ではこのイベント順に事業の内容を詳しく述べる。

2.1 出張講義

6月に行う出張講義では、輸送問題など典型的な最適化モデルを用いて上記のプロセス 1, 2, 3 について説明を行っている。その際、特に以下の点に留意している。

2.1.1 高校のカリキュラムとの整合性

本事業では、線形計画問題あるいは整数計画問題としてモデル化を行うことを前提としている。特に線形計画問題については、「新指導要領・生きる力 高等学校学習指導要領解説 数学編」（以下「新指導要領数学編」と略）[4] の「数学 II」における「図形と方程式」の「軌跡と領域」に記述されている（[4], p. 31）²。こ

のプロジェクトに参加する意志を持つ、限られた生徒が受講しているためか、図 1 にあるような (x, y) -平面上の「不等式で囲まれた領域内で、与えられた傾きの直線の y 切片を最小にする点は？」と問いかけると、きちんと理解して、正しい点を指さしてくれる。これで線形計画問題の最適解のイメージをつかんでもらったうえで、今度は領域内の格子点の中から y 切片を最小にする点を探してもらう。これらの作業を通して、最適化モデルが高校のカリキュラムと密接に関連することを理解してもらう。

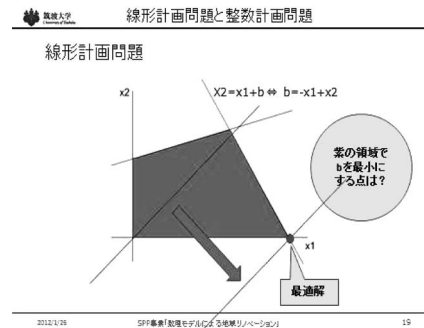


図 1 線形計画問題：不等式で囲まれた領域内で y 切片の値を最小にする点は？

また、単なる例題をソルバーで解くだけではないので、問題を記述するうえで Σ 記号の使用は避けられない。 Σ 記号は、「新指導要領数学編」[4] の「数学 B」の「数列」で登場するが、「なお、 Σ の扱いは、生徒にとって理解しにくいものであるので、丁寧に指導することが大切である」（[4], p. 56）と書かれているように高校生にとっては（大学生も同様だが）、大きな関門である。さらに整数計画モデルでは、高校のカリキュラムを超えて、2重和、3重和も日常的に現れる。少人数授業である利点を生かして、生徒に実際に黒板で、 3×10 程度の行列の要素の和を実際に書き下してもらい、 Σ を 2 つ重ねて 2 重和を表す便利さを体験してもらっている。

上述した、単元「軌跡と領域」と「数列」は、一般に高校 2 年次の春から秋にかけて授業が行われる。しかし出張授業は 6 月に行うので、生徒はどちらか一方を学んでいない場合が多い。高校の授業の前に先取りしてしまうことから、高校生が混乱しないよう、丁寧に授業を行うよう心がけている。

² この新指導要領は平成 24 年 4 月から導入されるものであるが、「線形計画問題」や「数列の和」については現行の指導要領でも同様に取り上げられている。

2.1.2 プロジェクトのイメージの共有

講義の最後に、「講義で紹介した数理モデルを用いて、皆さんの身近な問題に対する解決方法を提案したいので、『●●をうまく決めて■■を最小（あるいは最大）にしたい』あるいは『●●をうまく決めたい』という形式で問題を提起してください」と依頼している。しかし教科書や問題集を中心に勉強を行っている高校生にとって、こうしたプロジェクトによるアウトプットがどのようなものであるか、想像することは難しい。初年度は、同様の課題に取り組んだ大学生の作品を紹介したが、2年目以降は、実際に高校生が取り組んだ作品を紹介している。当初、過去の作品を紹介することで、「お題」が限定されてしまうのではないかと心配していたが、グループで取り組んでいることと、生徒の個性を尊重して下さる高校の先生方の巧みなご指導のお蔭で、これまで過去の例に大きく引きずられるということとはなかった。

出張講義の最後には、高校生からの質問の時間を十分に取っている。当初は「どんな質問が出るのだろう」と期待と緊張の入り混じった思いで教壇に立っていたが、実際には「合宿には何を持っていきますか」といった、大学教員にとっては、とても新鮮に思える質問が多い。TAによれば、高校生からのモデルに関する質問は、合宿中に始まり、最終発表会直前にピークを迎えるとのことである。

2.2 筑波大合宿まで

出張講義から約2週間後に、「プロセス1:問題提起」として各高校のお題のスライドを送っていただいている。昨年実際に取り組んだお題は以下のとおりである。

1. 学校の場所をうまく移動して、生徒全員の通学時間を最小にしたい。
2. 交通規制をうまく決めて、土浦花火大会会場までの所要時間を最小にしたい。
3. EU加盟国すべての観光地をうまく巡って、所要時間を最小にしたい。
4. 近隣のスーパーをうまく巡って、1週間の買い物費用を最小にしたい。
5. 電気機器をうまく使って、節電しながら快適さを最大にしたい。
6. 持ち物をうまく決めて、修学旅行を最大に楽しみたい。

TAはこれらの問題を1週間でモデル化し、最適化ソルバーに渡すプロトタイププログラミングを行う。

例年「巡回セールスマン問題」で考えればよいとすぐわかる問題から、どういう状況を想定しているのか

全くわからない問題まで、多種多様である。スライドにはお題に至った着想や背景についても説明が加えられているが、それでもわからない場合は、高校の先生を通じて解説していただいている。上記のお題6は、5人の女子高校生グループによる沖縄修学旅行を楽しむためのお題で、洋服もただ持っていけばいいのではなくてアイテムの組合せが重要であったり、グループでトランプは一つでいいので、そうした持ち物を協力して持っていきたい、カバンの大きさには限りがあるので、どうやって持っていけば賢いか、という問題である。筆者は当初そのような事情に全く気づかなかったが、女子学生のTAはたちどころに問題の主旨を理解して、目的関数に多次割当を含む複数ナップサック問題としてモデル化を始めた。このようにいつも優秀なTAに助けられている。

しかし、彼らも初めからすぐにモデル化できたわけではない。初年度は、大学で整数計画モデルに関する実習を行っているので、TAたちが工夫してモデル化に取り組んでくれるだろうと高を括っていたところ、お題の多くが「順番を決める問題（＝巡回セールスマン問題）」に帰着されてしまっていた。どのお題でも一生懸命探せば、何らかの「順番を決める問題」は見つかるものである。これでは到底おもしろいモデル化にはならないので、最適化モデルでよく知られたいくつかの定石³をTAに思い出してもらうことにした。

定石の例の一つは、絶対値関数の表現である。例えば値 x を二つの非負値 x_+ 、 x_- の差で表現し、

$$\text{最小化 } x_+ + x_-$$

$$\text{制約 } x = x_+ - x_-, \quad x_+ \geq 0, \quad x_- \geq 0$$

とすれば、 x の絶対値を最小とする問題になる。もう一つは、「数理モデルの作成法」[5]⁴に述べられている、論理条件の表現である。例えば、ある材料を使った($x > 0$)ならば、0-1変数 δ が1となるようにするには、その材料が使われる量の上界 M を決めて、

$$x - M\delta \leq 0$$

とすればよい。逆に、その材料が使われる量の最小単位を m とすれば、

$$x - m\delta \geq 0$$

とすることで、0-1変数 δ が1の場合、必ずその材料が使われるという制約になる。これらを含めさまざまな定石の知識が蓄積されて、2年目以降、少しずつ多

³ このようなモデリングのテクニックについては、本特集号の藤江哲也氏の記事をご覧ください。

⁴ この翻訳版は現在印刷されていない。原著[6]は入手可能である。



写真1 プログラミングに取り組む様子

様なモデルが提示されるようになってきている。

2.3 筑波大合宿

8月に行う2泊3日の筑波大合宿で、「プロセス2：モデル化」と「プロセス3：求解」の実習を行う。

初日の午前中は、自己紹介を兼ねて、各高校のお題をスライドで説明してもらい、TAと共に昼食をとり、午後は高校ごとに六つのゼミ室に分かれてモデル化に取り組む。手始めとして、TAが考えてきたモデル化を高校生に理解してもらい、高校生を教えることに慣れているTAはそれほど多くないので、各高校の部屋を時折見て回るが、生徒との信頼関係を育むため、なるべくTAに任せるようにしている。TAが考えてきたモデルを、高校生が「実はそうではなくて」と否定することも多く、往々にしてモデルの修正が必要である。実習後深夜まで、TAがモデルの再構築に取り組むことも多い。

2日目の午前中は、参加者全員が一室に集まり、最適化ソルバーのプログラミング実習を行う(写真1)。六つの高校にソルバーをインストールしたPCを渡し、その六つの画面を壁やスクリーンに映し出すようにしている。互いの画面を見ることで、競争意識が芽生え、かなり速いスピードで修得してくれている。その一方で、速さを意識しすぎて、こうした作業が得意な1、2名ばかりがキーボードの前に座ってしまうことが多い。キーボードを打っていないメンバーも一緒に画面を見つめているが、若干「お客様」になってしまう。生徒全員にソルバーをインストールしたPCを用意することは困難なので、致し方ないことではあるが、キーボードを打っていない生徒ももう少し引き付ける工夫をしたいと思っている。

午後は再度各高校に分かれて、前日モデル化した問題のプログラミングを行う。適当なデータであっても、実際に答えが出てくると歓声が上がリ、プログラミングのおもしろさに今昔がないことを実感する。

2日目に基本となるモデルの求解ができたところで、次に発表用のスライドの準備に取りかかる。高校生にとってスライドの作成は、各自のアイデアを出しやすい楽しい作業のようで、各高校の個性が現れたスライドができ上がる。これらのスライドを3日目の午後に発表し、最後に筑波大学のキャンパスを見学して合宿は終了、解散となる。

例年実習は大学で行い、高校生は近くの研修センターに宿泊してもらったが、昨年は震災による節電の影響で平日大学が使用できず、涼しい筑波山の麓にある市の宿泊施設を利用した。高校生全員を収容できる部屋は畳の大広間のみだったので、プログラミング実習では、障子の棧に模造紙を張り付けた簡易スクリーンにPCの画面を映した。畳の上で寝ころびながらモデル化やプログラミングを行う様子は、プログラミング実習の講師を担当する繁野准教授によれば、「昔のSSOR⁵を思い出させる」とのことだった。高校生のみならずTAもすべて泊り込んだので、夜まで作業を行うことができ、生徒とのコミュニケーションも深まった。合宿当日も震度5弱の余震で電車が止まり、1日目に間に合わなかった生徒もいたが、震災のおかげで新しい合宿のスタイルを経験することができた。

2.4 最終発表会まで

合宿が終わると、高校生にとって最も大変な「プロセス4：解の検討」作業に入る。問題解決に必要なデータを集める必要があるが、しっかりとした問題解決に導こうとすればするほど、データが膨大となることが多い。ここでグループで取り組んでいることのメリットが生まれるが、人数が多いほど、とりまとめにエネルギーが必要となる。プロジェクト終了後の高校生の感想にたびたび「グループをまとめるのが大変だった」の一文が現れる。高校の先生方には大変にお手数をおかけしているが、最適化モデルを体験するだけでなく、こうした体験ができることも、このプロジェクトの特徴だと考えている。

データが集まったところで求解してみるが、一度で満足のいく解が得られることはほとんどない。制約を見落としていたり、問題が大きくなり過ぎてしまったり、求めたかった解とは異なる解が得られてしまうことが多い。そこでTAの登場となる。最終発表会まで、TAは何回か高校を訪問し、何度もメールや電話で質問に対応している。この作業において「高校生の朝が

⁵ SSORをご存じない方は、「SSOR2007」<http://open.shonan.bunkyo.ac.jp/ssor/> (2012年1月15日確認)をご覧ください。

早い」ことがTAには辛いらしく、「朝8時に電話で起こされました」という泣き言も時々聞こえてくる。高校生の電話は、TAの生活リズムの改善にも役立っているのかもしれない。

3年目を迎えてプロジェクトのコツがつかめてきたためか、高校生もTAも、粘り強くモデルの修正が行えるようになり、当初の目的に近い、妥当な解にたどり着けるようになってきている。

2.5 最終発表会

2年目から、最終発表会は、筑波大学の学園祭の1企画として実施している。高校生には早朝大学に来ていただき、午前中に発表練習をみっちり行う。この練習の目標は「原稿を読まない」ことである。高校ではこのような発表スタイルは少ないようで、原稿から目を離すことは結構勇気がいるようである。高校の先生方のご協力のお蔭で、2年目以降すべての高校生が原稿を読むことなく、聴衆に向かって自分の言葉で発表できるようになっている。高校生のご両親、科学技術振興機構、茨城県教育委員会、筑波大学等の関係者が100名以上集まるなか、高校生は堂々と発表を行い、本プロジェクトは終了する。

3. これまでの取り組み例

本プロジェクトをより具体的に紹介するため、本節では2010年度に行った日立北高等学校の取り組みを紹介する。

2010年7月21日に日立北高等学校より送られた「お題」は、『登下校時の道の街灯の配置をうまく決めて、安全を最大にしたい』であった。「安全」は明るさによってもたらされる、街灯についても最近では従来の水銀灯に加え太陽光式の街灯が注目されている、などを考慮し、街灯の配置法に関する「明るさ優先」「コスト優先」の二つのモデルを考えることにした。

2010年8月4-6日に筑波大学で実施した合宿において基本モデルを完成させたあと、必要となるデータを高校生自ら収集した。具体的にはGoogleマップを用いて通学路周辺の地図を作成し、街灯のデータを記入(図2)、さらに照度計で道路を測定し、特に暗い危険箇所を検出した。

以上の調査から、街灯配置の候補点168点を抽出し、
制約1 各候補点に街灯を配置する場合は、照射範囲と価格が「狭いが安い水銀灯」または「広いが高い太陽光発電灯」のどちらかを配置

制約2 特に暗い場所には配置

制約3 候補点はある範囲内の街灯で照射される



図2 街灯を記入した通学路の地図

実行結果

	水銀灯 [個]	発電灯 [個]	総コスト [万円]
明るさ優先	44	27	3170
コスト優先	85	2	2690

図3 二つの最適化モデルの解



図4 実際に配置した図

以上3種の制約の下で、「明るさ優先」「コスト優先」それぞれのモデルの解を求め、図3と図4に示す結果を得た。

2010年10月9日に筑波学園祭の1イベントとして行った最終発表会では、鳩山由紀夫元首相よりコメントを頂き、翌朝各種新聞の茨城版で報道された(図5)。

4. 高校生と出会ってわかったこと

これまで本プロジェクトにご協力いただいた高校は、



図5 2010年10月10日毎日新聞・茨城版(朝刊)より抜粋

北から、日立北高等学校、緑岡高等学校、鉾田第一高等学校、下妻第一高等学校、土浦第二高等学校、牛久栄進高等学校、竜ヶ崎第一高等学校の7校であり、例年計40名程の2年生の皆さんに参加していただいている。上記の高校は、いずれも各地域の代表的な進学校であり、参加生徒の多くは国立大学理工系への進学を希望している。過去3年間、これらの高校生と出会うことで、いくつかわかったことがある。

4.1 高校の授業の影響力

「高校の授業」が高校生に与える影響は予想以上に大きかった。理工系に進学したい理由は、医学や薬学といった応用例がわかりやすい分野を除き、「理科の授業が好きだから」、「数学の授業が好きだから」であり、それ以上の情報はあまり持っていない。

4.2 「社会で役に立つ勉強がしたい」という希求

また、予想以上に「社会で役に立つ勉強がしたい」と思っている。例えば、今回取り上げた最適化モデル、特に整数計画法を用いてパズルを解く試みは、多くの大学の授業で行われているが、大学生とは異なり、こうしたテーマにはあまり強い関心を示さないように感じられた。就職する生徒が少ない高校を対象としているためか、大学生より社会との距離が遠く、不安を感じているのかも知れない。今勉強していることは社会でどのように役立つのか、真面目に知りたいと思っている生徒が多い。

4.3 「数学は社会で役に立つのか」という疑問

上記とも関連して、予想以上に「数学は社会で役に立たないのではないか」と考えている生徒が多い。例年、本プロジェクトに参加した生徒の何名かは、「数学が役に立つことを初めて知った」という感想を述べている。真面目な高校生には、彼らが「これなら役に立

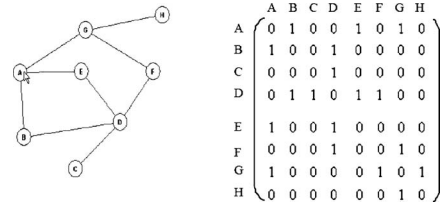


図6 「新指導要領 数学編」[4] p. 64より抜粋

つ」と納得してもらえるモデリングを、是が非でも体験してもらう必要があると感じている。

5. プロジェクトの意義

4節で述べた高校生の希求に叶うことを目指して、本プロジェクトを今後も継続したい理由について述べる。

5.1 新指導要領における新科目「数学活用」

平成24年4月より導入される「新指導要領 数学編」[4]にあるように、新たに「数学と人間とのかかわりや数学の社会的有用性についての認識を深めるとともに、事象を数理的に考察する能力を養い、数学を積極的に活用する態度を育てる」ことを目的とした「数学活用」という科目(2単位)が開設されることになっている。この科目の内容を説明した「第6節 数学活用」によれば、この科目は「具体的な事象の考察を通して数学のよさを認識できるように」([4], p.59)指導することが求められており、大きく分けて、「(1) 数学と人間の活動」「(2) 社会生活における数理的な考察」の二つの内容を含んでいる。

特に後者は、オペレーションズ・リサーチ分野に深く関連する内容であり、「理論的な厳密性を追求するよりも、コンピュータやグラフ表示などができる電卓、情報通信ネットワークなどを積極的に利用し」([4], p. 62)、「生徒が充実感や達成感をもって学習が進められるように」([4], p.62)留意するよう求められている。そして具体的な例としてイベント会場の移動経路選択問題等が挙げられている(図6)。

本プロジェクトは、数学教育における新しい科目「数学活用」にまさに対応した内容となっている。

5.2 最適化モデルに対する各種の高速なソルバー

本プロジェクトの実現には、高速な最適化ソルバーの利用が欠かせない。整数計画問題に対するソルバーの、近年の目覚ましい発展こそが本プロジェクトを支えていると言っても過言ではない。このような強力な「魔法の杖」がある今こそ、最適化モデルの有効性をこれまで以上に広く伝えるべきであると考えている。

5.3 TA を務める大学院生の成長

初年度の取り組みで、最も予想外であったことは、TA を務める大学院生の目覚ましい成長だった。研究活動や就職活動の時間を割いて、必要な専門知識の修得と、それらを高校生に伝える技術の向上に取り組んでくれたことを大変に頼もしく思っている。本プロジェクトでの体験は、自身の研究や今後の活動において必ず役立つものと信じている。

6. おわりに

紙面の都合上、一部しか紹介できなかったが、各高校のチームが作り上げた作品は、高校生が作成したとは思えないほどの水準に達している。その原動力は、高校生の熱心な取り組みに加え、彼らを親身になって支えて下さった高校の先生方の多大なご尽力に他ならない。また本事業では、期限を決めて、Fico Xpress Hyper を 6 基、無償で使用させて頂いている。各高校の先生方、Fico Xpress、MSI 株式会社の皆様、科学技術振興機構ならびに茨城県教育委員会の皆様、本事業をご支援いただいている多くの皆様に、謹んでお礼を申し上げます。

2.4 項でも述べたように、プロジェクト開始から 3 年目を迎え、高校生が提起した問題に対して、かなり妥当な解が提示できるようになってきている。しかしまだ改善すべき点がある。最初のモデル化で意図しない解が得られた際に、「おかしな解が得られてしまったのでモデルを改良しました」と説明することはあっても、「そのような解が得られてしまった理由は」と説明した高校生グループはまだ現れていない。望ましい解が得られなかった理由を考えることこそ、今取り組んでいる最適化モデルの本質を理解する重要な一歩となるはずである。TA も含めて、今後は「得られた現象の理由の考察」についても支援できるようにしたいと考えている。

最後に、本特集を企画された宮代隆平先生から、「こうしたプロジェクトは、最適化分野に近いスタッフが多い筑波大学だからこそできるのではないか」とのご質問を受けた。ご指摘のように私たちは大変に恵まれた環境にある。高校への出張授業は、大澤教授、山本教授、筆者が 2 校ずつ分担し、プログラミング実習の講義は繁野准教授が、実習のサポートを八森准教授と筆者が担当している。そして各高校に TA2 名を配し、計 12 名の TA の相談・連絡役として博士後期課程の学生 2 名が当たっている。モデリング、プログラミング、データ収集といった、それぞれ厳密さが要求される作業を、六つの高校で同時に実施するために十分な条件が揃っている。しかし対象を 1 校あるいは 2 校程度に限定すれば必要な労力は大幅に軽減され、さらに同様の取り組みを行う大学間で連携を図るならば、今以上に大きな効果が得られるのではないだろうか。実際次回のプロジェクトでは、関谷和之先生のご発案で、最終発表会において静岡大学とコラボレーションを行わせていただくことになっている。こうした新しい取り組みを取り入れながら、より充実した事業を目指していきたいと考えている。

参考文献

- [1] 「高大連携」(2007-05-24 朝日新聞 朝刊) <http://kotobank.jp/> コトバンク (2012 年 1 月 15 日確認)。
- [2] 「高大連携の部屋」<http://koudai.tsukuba.ac.jp/> 筑波大学 (2012 年 1 月 15 日確認)。
- [3] 「サイエンス・パートナーシップ・プロジェクト」<http://spp.jst.go.jp/> 科学技術振興機構 (2012 年 1 月 15 日確認)。
- [4] 「新学習指導要領・生きる力 高等学校学習指導要領解説 数学編」http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/new-cs/youryou/index.htm 文部科学省 (2012 年 1 月 15 日確認)。
- [5] H. P. Williams 著, 小林 英三 訳, 『数理モデルの作成法』, 産業図書, 1995。
- [6] H. P. Williams, *Model Building in Mathematical Programming*, 4th Edition, Wiley, 1999。