

## 南山大学での OR ソフトウェアの利用

鈴木 敦夫, 伏見 正則, 澤木 勝茂

## 1. はじめに

南山大学では、1998年の新キャンパスの設置検討に際して、AHPを用いて新キャンパスに新設する学部の決定を行ったのを皮切りに、オペレーションズ・リサーチを大学の業務改善に利用してきた。2004年からは、プロジェクトNというORチームを結成し、大学内の種々の問題に取り組んでいる。プロジェクトNは、教員と事務職員の混成チームで、毎月1回のミーティングを行っていることは、先々月号で紹介したとおりである[6]。

今回は、われわれが問題を解決する際に用い、また教育研究に用いてもいる市販のORのソフトウェアについて紹介したい。近年、PCの高性能化と、低価格化による普及、それに歩調を合わせて進歩し、普及したORや統計のソフトウェアによって、実際の問題をこれらのソフトウェアを用いて解決することが容易になってきていることは、読者の皆さんもご承知のとおりである。南山大学では、1990年代の初めから数理計画ソフトウェアXPRESS-MPを導入し、当時、経営学部情報管理学科に所属していたORの研究者たちが教育研究に利用していた。また、学生の研究室への配属に際しては、今野浩先生の著書[5]を参考にして、配属問題を輸送問題として定式化し、XPRESS-MPを用いて解を求めていた。また統計ソフトウェアSも導入し、データ解析の講義演習で用いていた。

その後、2000年に設置された数理情報学部では、設置時に、学部として、シミュレーションソフトウェアVisual SLAM II、数学関係のソフトウェアMathematicaを導入し、教育・研究に用いている。現在で

は、学部として購入しているソフトウェアにMATLABが加わり、さらに、ORの研究室では、数理計画ソフトウェアのWhat's Best!, LINGO, NUOPT, SOPT, CPLEX, データマイニングソフトウェアのVisual Data Mining Studioを購入している。特にWhat's Best!は100ライセンスを購入している。数理情報学部の学生にはノートPCを貸与しているが、ORの研究室に所属する大学院生、学部生はこのノートPCにWhat's Best!をインストールして最適化計算ができるようになっている。

このように、南山大学では、いろいろなソフトウェアが利用できるようになっているが、これらのソフトウェアを導入、利用してきた際のさまざまな事情と、現在、大学業務の改善とORの研究室での教育研究にこれらのソフトウェアがどのように用いられているかを次節以降で紹介していこう。

## 2. 最初の取組み—研究室配属問題

1990年代の初めから、3年前まで、南山大学の組織の変遷に従うと、経営学部情報管理学科から数理情報学部数理科学科になり、情報システム数理学科と名前を変えるまで、研究室への学生の配属は、数理計画問題を解くことで決定されていた。学生は3年生になるときに研究室に配属になるが、その配属先の決定方法は、学生にとっても教員にとっても大きな問題になっていた。

この方法では、学生に第3志望までの研究室へ配属された場合の満足度を提出させ、学生全員の満足度の和を最大にする問題を輸送問題として定式化し、ソフトウェアXPRESS-MPを用いて解いた。

この方法を導入する前は、学生は、第1志望から第3志望まで、志望する研究室を提出し、志望する研究室の人气が高くて定員がオーバーしたときには、第2次募集になってしまうなど、不満が大きかった。特に定員をオーバーしたときには、教員が成績などを考慮して学生を選んでしたが、その基準が各教員で同じで

すずき あつお, ふしみ まさのり  
南山大学 情報理工学部  
〒489-0863 瀬戸市せいでい町27  
さわき かつしげ  
南山大学 大学院ビジネス研究所  
〒466-8673 名古屋市昭和区山里町18

ないことに対して学生の不満が大きかった。

全体の満足度最大という基準は、ある程度学生に受け入れられ、約10年間にわたって、この方法で学生の研究室配属が決定されていた。われわれは毎年、配属方法に関してアンケートをとって学生の反応をモニターしていたが、大半の学生は、この方式に賛意を認めしていた。ただし、一部の学生からは、成績を反映しないことに関する不満が示され、そのような意見は徐々に増えていった。

XPRESS-MPはこの方式を維持するのに大きな役割を果たしていた。実際、130名程度の学生を、10から12の研究室に配属する問題は、1,500変数、150制約式程度の大きさの輸送問題として定式化でき、当時、XPRESS-MPがインストールされていたSun社製のワークステーションで、ごく短時間で解くことができていた。あまり短時間で解が求まるので、ORの教員以外は、当初、その解を信用しなかったくらいである。

このように効果を挙げていた方式も、3年前には別の方式に変更された。新しい方式は、学業成績を全面的に研究室配属に反映させるものである。学生の満足度をもとにした方式とは全く考え方が異なっており、この時点で数理計画法による配属方式は終わりとなった。全体の満足度最大という基準が徐々に学生に受け入れられなくなってきたのが原因である。新しい方式では、学生は、成績が良ければ希望の研究室に配属されやすくなる。学生の配属先の希望は、成績という、自分の能力、努力の成果でどれだけ満たされるかが決まるということである。配属の希望を提出する時期は、2年次の秋学期の初めと秋学期の終わりの2期に分かれており、2期目に考慮される成績は、2年次の秋学期のみの成績である。第1期で希望の研究室に配属されなかったら、その配属をキャンセルし、秋学期に良い成績をとって、第2期の配属で再度チャレンジすることができるようになっている。

XPRESS-MPは情報管理学科の教育でも用いられていた。例えば、ある年の情報管理学科の卒業研究では、補講期間の時間割を作成した。学期中に出張等の理由で講義を休講にしたときに、その学期の終わりにまとめて補講をするが、その際の時間割を自動的に作成できるようにした。その卒業研究では問題を0-1整数計画問題として定式化し解を求めている。この成果は、結局、南山大学の業務改善には結びつかなかった。それは、当時XPRESS-MPはSun社製のワークステーションに搭載されており、業務はIBM社製のオ

フィスコンピュータで行われていたことが大きな要因である。われわれがXPRESS-MPを用いて問題を解くことはできるようになったが、それを業務で役立つようにすることはできなかった。

その他にも、入試監督の自動割当にも取り組む計画もあったが、結局それは実現しなかった。これも上記の理由が大きな要因だった。その後、南山大学の事務システムは、WindowsをOSとして搭載しているPCのネットワークに移行していき、われわれ数理情報学部の教育も、LinuxとWindowsの両方のOSを搭載したノートPCを用いたもの変わった。と同時に、ORのソフトウェアもPC上で稼動するものがひろく普及した。このことが、南山大学の業務改善にORを用いる大きなきっかけのひとつとなっている。

### 3. 情報理工学部でのORソフトウェアの利用

2000年に、経営学部情報管理学科を母体に、南山大学瀬戸キャンパスに、数理情報学部が設置された。2009年には学科の新設を伴って、名称変更し、現在の情報理工学部になっている。数理情報学部の設置時には、新しく瀬戸キャンパスに校舎を建築し、コンピュータネットワーク、PC等の設備もすべて新しく導入した。学生は1人1台ノートPCを貸与され、キャンパス内のどこでもそのノートPCを用いて、学習できるようになった。その際、ORの教育用のソフトウェアは、シミュレーションの教育のためにVisual SLAM IIを購入した。当初、Visual SLAM IIはシミュレーションの教育に用いられていた。しかし、ライセンスの関係で、これらは学生に貸与しているノートPCにインストールすることはできず、その当時は3室あったPCルームの1室にあるデスクトップPCでしか利用できなかった。このことが原因で、徐々にVisual SLAM IIは利用されなくなった。現在は、情報理工学部のある南山大学瀬戸キャンパスにはPC教室はなくなり、デスクトップPCも撤去されている。PCを用いた教育は、学生に貸与されているノートPCで行われており、シミュレーションの教育はExcelを用いて行われている。Visual SLAM IIは利用されないままになっているが、今後、ORの研究室で利用する予定である。

2003年には、What's Best!を数ライセンス購入し、数理情報学部数理科学科での卒業研究で利用を始めた。What's Best!はExcelのアドインソフトである。

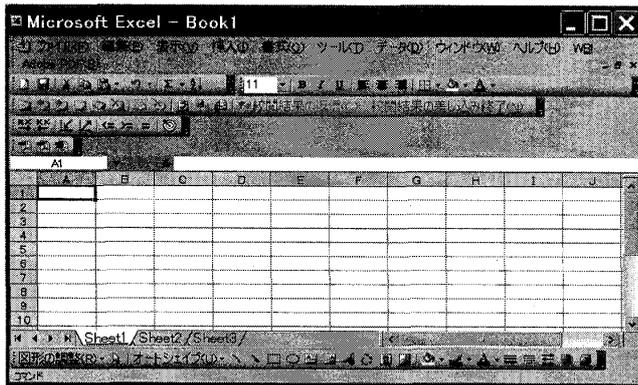


図1 What's Best!をインストールしたExcelシート左上に一連のWhat's Best!のボタンがある

Excelのシート上で、制約条件や目的関数を設定して最適化計算を行う。CPLEXのAMPL, OPLやLINGO, NUOPTのsimpleのようなモデル記述言語ではないので、定式化した問題をExcelのシート上に実現するには手間と工夫が必要である。しかしながら、現場では、Excelを使って業務を行っている場合が多く、担当者はExcelに慣れている。そのため、Excel上で実現されているシステムだと、抵抗なく受け入れてくれる傾向がある。この理由から、実際の業務で使ってもらうには、What's Best!を用いてシステムを作成するメリットがある。図1はWhat's Best!をインストールしたEXCELのシートである。左上にWhat's Best!のボタンがあるのがわかる。

ちょうどこのとき、ORを用いて大学業務を改善しようという試みが始まり、入試監督の自動割当問題などのORを用いた問題解決の素材が大学から提供されるようになった。実際、2003年度の卒業研究では、入試監督の自動割当システムをWhat's Best!を用いて試作し、実際に2004年度入試から利用されている。このときはまだ購入したライセンス数が少なかったため、大学から志願者数や、監督者の数、試験室の数などを提供してもらい、それを用いて、試験監督の割当をこちらで計算して、担当部署に送ることをしていた。この成果は、前回までに紹介したように、INFORMSのFranz Edelman Finalist 賞受賞理由の一部になっている[9]。この自動割当システムは、現在にいたるまで、改良を重ねながら毎年度の入学試験で利用されている。

前述したように、このシステムはExcel上で作成されている。南山大学でも業務にExcelを用いることが多かったため、現場で入試監督の割当に携わっている事務職員にも容易に受け入れられた。多くの制約

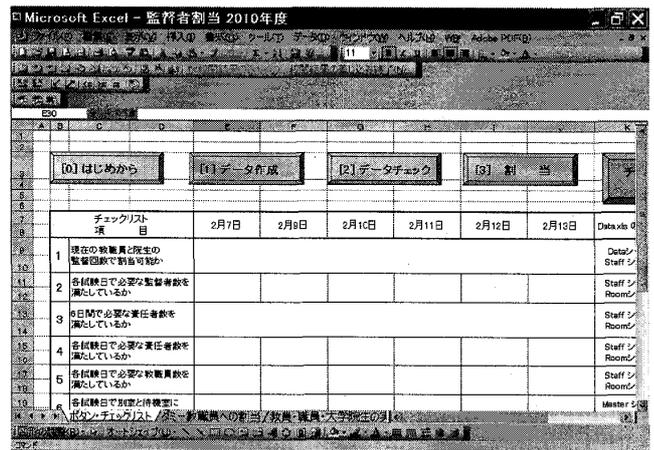


図2 入試監督自動割当システムのシート

式を持つ線形計画問題をExcelのシート上に実現するのはVBAを用いて行い、また、簡単な開始ボタンなどのインターフェースも同じくVBAを用いて作成している。図2は現在の自動割当システムのシートの一部である。

これ以降も、前回までに紹介した、インターンシップ発表会のプログラム自動作成、入学試験の学生アルバイトのシフト作成、スクールバスの最適割当など、ほぼ毎年のように、卒業論文や修士論文で、大学の業務の改善につながるシステムをWhat's Best!を用いて作成してきた。数年前には、What's Best!を100ライセンス購入した。現在は、ORの研究室の学部生、大学院生は貸与されているノートPCにWhat's Best!をインストールして最適化の計算をできるようになっている。

大学院生や学部生が作成したこれらのシステムは、現在も、われわれのグループでメンテナンスをしながら、実際の業務に用いられている。例えば、インターンシップ発表会プログラムの自動作成のシステムは、今年度、条件を変更する必要があったが、われわれのグループでシステムを修正している。また、入試監督の自動割当システムは、最初に卒業研究でシステムを試作した学生が博士課程に進学し、毎年改修を担当して、現在に至っている。

大学業務の改善以外にも、中部地方のいくつかの企業から委託研究の依頼があり、それらに対しても、What's Best!を用いている。あるホームセンターからは、ここ5年間、毎年いくつか非常に興味深い問題を提供してもらっている。また、そのホームセンターは、研究員をわれわれORの研究室に派遣している。彼女たちは、それらの問題に関する情報を提供してく

れると同時に、成果をホームセンターに持ち帰って現場で役立てる役割を担っている。われわれが取組んだ問題の一例は、店舗の最適棚構成問題である。これは、7万種類以上ある商品のなかから、どの種類の商品をどれくらいの棚数だけ店舗に配置すれば、売上げが最大になるかという問題である。われわれはこの問題を0-1整数計画法問題として定式化し、What's Best!を用いて最適解を求めた。ORの教員が前述の研究者と一緒に問題を定式化した。実際にシステムを作成したのは、卒業研究を行った学部生である。このシステムはこのホームセンターで現在も活用され、大きな成果をあげているようである。

もう1つの例は、同じホームセンターの店舗での従業員のシフト作成の自動化の取り組みである。これもWhat's Best!を用いてシステムを作成した。2年前から始めたこの取り組みで作成したシステムは、今年の夏からこのホームセンターの全店で導入され、成果をあげ始めているとのことである。ただし、まだ改良点も多く、引き続きシステムの改修を続けている。このシフト自動作成のシステムは、情報理工学部の研究者となっているそのホームセンターの職員とわれわれのORグループの教員、大学院生が試作を行い、現場の意見を取り入れながら、実用化に向けて改良していったものである。人事関係のデータとのインターフェースや、実際に店舗で用いるシートのレイアウトなどはホームセンターの現場と打ち合わせながら、その研究者が行い、システムの設計と最適化計算はわれわれが担当した。

その他にも、棚割の最適化問題、棚の最適配置など、いずれも実際のデータを提供してもらって問題を分析し、数理計画問題として定式化し、What's Best!を用いて最適解を求めている。それらのシステムはいずれもそのホームセンターに技術移転され、現場に落とし込むための検討をされている。

2009年度には、Visual Mining Studioというデータマイニングのソフトウェアを複数ライセンス購入した。現在、このソフトウェアを用いて、ホームセンターから提供を受けたレシートデータを分析し、商品の購入パターンから商品棚の最適配置を見直すことを始めている。

このホームセンター以外からも、委託研究を依頼されている。ある商品の卸の企業からは、商品の陳列棚の自動構成システムの作成を依頼されており、現在、大学院生と一緒に、What's Best!を用いたシステム

を試作中である。また、近くの大学病院からデータの提供を受けて、看護師のシフト自動作成システムを作成する取り組みを、大学院生とともに2年前から行っているがまだ実用化には至っていない。看護師のシフトには、数多くの制約があり、その制約にも、必ず満たすべき制約、できれば満たしたい制約があり、また制約同士にも関係があるなど、解決すべき問題が非常に多く、システムの実用化までにはまだまだ時間がかかりそうである。特に、日勤、準夜勤、夜勤の3交代制の場合は、条件が複雑である。幸い、看護師のシフトは比較的単純な2交代制に移行しつつあり、実用化の可能性も高くなってきたように見える。この取り組みには大学院生が過去2年間毎年1人ずつ加わってきたが、来年度には3人目の大学院生が加わりそうである。

また、この看護師のシフト作成の取組みをきっかけとして、LINGOを50ライセンス購入した。What's Best!は前述のようにモデル記述言語を持たないので、看護師のシフト作成のような複雑な条件を持つ問題を取り扱うのには向かない。特に、相談に乗ってもらっている看護師長から、開発途中でシステムに足りなかった条件を指摘されると、それをExcelのシート上に実現しなくてはならないので、改修に大きな手間がかかってしまう。その点、LINGOであれば、制約式の記述を1つ増やすだけという場合が多く、改修の手間がかからない。今後は、What's Best!とLINGOを問題によって使い分け、併用していくことになる。

さらに、昨年度からは、OR学会の研究発表会のプログラム作成の自動化にも取り組んでいる。中部支部で研究発表会を行った際に、プログラムを作成するのにかなりの時間を費やした経験から、情報理工学部の佐木木美裕先生を中心にプログラムの自動化に取り組み始めた。まだ完全自動化には至っていないが、徐々に改良を続けている。このシステムはOPL CPLEXを用いて作成されている。最初は、学生が卒業研究としてシステムの作成に取り組み、その後、大学院に進学したその学生が実用性の観点からシステムに改良を加えた。昨年筑波大学での春季研究発表会のプログラムの作成には、このシステムを用いてお手伝いをさせていただいた。長崎での秋季研究発表会の際にも、佐木木美裕先生がこのシステムをさらに改良し、プログラム作成のお手伝いをさせていただいている。現在、定式化を見直し、さらに改良を加えている。将来は、実用的なシステムを完成させ、OR学会の各支部や本

部でも利用してもらえようようにしたいと考えている。

これらの問題に取り組むにあたっては、ORの教員が学部生、大学院生、研究員と一緒に問題の定式化を考え、実用的なシステムの実現のために委託研究の依頼企業や大学の事務職員らと話し合っ、システムを設計している。これらの活動は、ORの教員にも大きな負担がかかる。また、原著論文になるような研究成果に結びつくことも期待できない場合も多い。しかしながら、学部生、大学院生にとっては、ORを用いて実際の問題を解決できることを経験して企業に就職していくことで、彼ら自身の将来にも役立ち、さらにはORの普及にもつながると信じて、これらの負担をこなしている。

情報理工学部では、研究室の配属先として、ORの各研究室は学生に人気が高く、毎年希望する学生全員を受け入れることができない。それは、学生が研究室への配属を決める2年生の秋に、OR概論という講義があり、この講義で今まで述べてきたような事例を紹介していることが大きな要因になっているように思う。学生の多くは、大学在学中に何かを身につけたいと考えており、実社会で役立ち、しかも多くの企業ではあまり普及していないORはこれから脚光をあびる可能性もあるということで彼らには魅力的にうつるようである。学生の要望に応えるために、研究室の学生定員を増員してもらうことも考えているが、純粋数学でもORでも同じ数の学生を指導すべきであるという、教員の負担の公平性の観点からの議論に対抗する有効なORの論理を考え出すことができず実現には至っていない。

#### 4. 研究でのORソフトウェアの利用

われわれは、ORの研究でもORのソフトウェアを利用して、われわれが取り組んでいる研究テーマの一つに施設の最適配置問題がある。そこでは、ORのソフトウェアを駆使して、研究成果をあげている。前述のXPRESS-MP, CPLEX, MATLABをよく利用しているが、今後、NUOPT, SOPTも利用していく予定である。

ネットワーク上の配置問題の多くは、整数計画問題として定式化され、それらの解を実際に求めるためにこれらのソフトウェアを利用している。もちろん、それぞれの問題について、オリジナルの解法プログラムを作成することもできるし、そうしなければならない問題もある。例えば、ポロノイ図を用いた最適配置問

題では、プログラムを作成して解を求めている[1][8]。例えば、文献[8]では、解法の一部で線形計画法を解く必要があるが、それは、自作のプログラムを用いている。一方、ORのソフトウェアを用いるのが適切なことも多い。例えば、文献[2]では、センサーネットワークのクラスタリングの問題を最適配置問題として定式化して解を求めているが、計算例の最適解を求めるためにXPRESS-MPを用いている。この研究では、解法の工夫よりも、求められた最適解の品質が問題となるので、解法を自作する手間をかけるよりも、ORのソフトウェアを利用するのが適切であると判断した。さらに文献[3]では、ネットワークの等長分割を求める方法を提案している。その方法では、線形計画問題を解く必要があり、計算例で解を求めるためにCPLEXを用いている。これも上の問題と同じ理由からである。CPLEXのもう一つの利用例は、階層型の施設配置問題の新しい定式化についてである[7]。この論文では、従来は、実用的な規模の問題はメタヒューリスティックを用いるなど、厳密解を求めることは不可能とされていたのが、定式化を工夫することで、短時間で厳密解が求められることを示した。計算例で厳密解を求めるのにCPLEXを用いている。

XPRESS-MPとCPLEXのどちらを用いるかは、そのときのライセンスの事情によることが多い。数年前にILOG社は期間限定で格安でOPL-CPLEXを販売したが、われわれの研究室で、このときに複数のライセンスを購入した。それまでは、XPRESS-MPを用いて最適化計算をすることが多かったのだが、これ以降、CPLEXを利用することが多くなった。われわれのOR研究室は比較的潤沢な研究費を持ち、また、南山大学も教育用ソフトウェアを購入する予算を潤沢に与えてくれてはいるが、それにもかかわらず、ORソフトウェアの価格がそのソフトウェアを利用するかどうかの大きな要因になっている。われわれが教育用にLINDO社のWhat's Best!とLINGOを選択しているのも、使いやすさもあるが、その良心的な価格も理由のひとつである。

#### 5. おわりに

南山大学のORグループでのORのソフトウェアの利用について述べてきたが、あらためて、ORのソフトウェアの活用がいかに重要かわかると思う。もしこれらのソフトウェアがなければ、われわれの取り組みはほとんど成功しなかっただろう。

南山大学情報理工学部のORの研究室では、ORの技術者を養成したいと考えている。ORの技術者とは、企業などの組織で、現場での解決が困難な問題を、ORの手法を用いて解決し、現場での業務の改善を行う技術者である。そのような技術者を養成するための題材が大学の業務改善のための問題であり、委託研究で提供されている問題ととらえている。それらの問題解決には、工学的な考察である実用性、作業効率や、解とそれをもとめるためのトレードオフなども重要な要素である。その際には、ORソフトウェアの利用は問題解決の選択肢として大きく浮かび上がってくる。

今後は、ORが普及し、企業などの組織の中で、より多くの問題をORの手法を用いて解決していかなくてはならなくなるだろう。その問題解決には、ORソフトウェアが数多く用いられることになると思われる。より安価で良質なソフトウェアが供給されれば、この傾向が促進され、ORの普及が急速に進展するであろう。

#### 参考文献

- [1] Z. Drezner and A. Suzuki, Covering Continuous Demand in the Plane, *Journal of Operational Research Society*, advanced online publication, 2009.
- [2] T. Furuta, M. Sasaki, F. Ishizaki, A. Suzuki and H. Miyazawa, A New Clustering Model of Wireless Sensor Networks Using Facility Location Theory, *Journal of the Operations Research Society of Japan*, Vol. 52, No. 4, pp. 366-376.
- [3] T. Furuta, A. Suzuki and A. Okabe, A Voronoi Heuristic Approach to Dividing Networks into Equal-Sized Sub-Networks, *Forma*, Vol. 23, No. 2, pp. 73-79, 2008.
- [4] 長谷川利治, 鈴木敦夫, 伊倉義郎, オペレーションズ・リサーチの新たな展開—理論研究から応用重視への転換, 中部産業連盟機関紙「プロGRESS」, 第659号, pp. 2-10, 2006.
- [5] 今野浩, 数理決定法入門—キャンパスのOR, 現代人の数理5, 朝倉書店, 1992年.
- [6] 澤木勝茂, 鈴木敦夫, 大学業務改善に向けてのORの活用, *オペレーションズ・リサーチ*, Vol. 54, No. 5, pp. 255-260, 2009.
- [7] M. Sasaki, T. Furuta and A. Suzuki, Exact Optimal Solutions of the Minisum Facility and Transfer Points Locations Problems on a Network, *International Transactions in Operational Research*, Vol. 15, No. 6, pp. 295-306, 2008.
- [8] A. Suzuki and Z. Drezner, The Minimum Equitable Radius Location Problem with Continuous Demand, *European Journal of Operational Research*, Vol. 195, No. 1, pp. 17-30, 2009.
- [9] 山本佳奈, 鈴木敦夫, 南山大学における入試監督自動割当システムの作成, *オペレーションズ・リサーチ*, Vol. 54, No. 6, pp. 335-341, 2009.

What's Best! は LINDO 社の登録商標です。

LINGO は LINDO 社の登録商標です。

XPRESS-MP は Dash 社の登録商標です。

CPLEX は ILOG 社の登録商標です。

MATLAB は Mathworks 社の登録商標です。

Visual SLAM II は Symix 社の登録商標です。

NUOPT は(株)数理システムの登録商標です。

SOPT は(株)サイテック・ジャパンの登録商標です。

Visual Mining Studio は(株)数理システムの登録商標です。

Windows は Microsoft 社の登録商標です。

Excel は Microsoft 社の登録商標です。

Mathematica は Wolfram Research 社の登録商標です。