
管理会計でのリニア・プログラミング

—— アルゴリズムの世界から経営実践的へ ——

小林 健吾

I まえがき

このLEC会計大学院紀要の第2号では、当初の予定を変更して、管理会計におけるパソコンを利用したリニア・プログラミング（以下、LPと略称する）の問題を取り上げることにしたい。その趣旨は以下の諸点にある。

われわれのLEC会計大学院では、当初の設立の際の趣旨から、公認会計士試験の受験のための授業ではなく、専門的な会計士としての知識と教養を高めるための高度な会計の実践的教育を目指している。筆者もこの趣旨に賛同して、担当する授業では欧米の管理会計論の水準以上の実践的教育を目指している。

しかし、内部でも指摘する向きもあるように、こうした教育方針は会計士試験の合格率には、必ずしもプラスに影響するとは限らない懸念がある。高度な知識と教養を高める実践的な授業と、試験合格のためとが両立しかねる懸念が少なくないのである。そこでLEC会計大学院で行っている管理会計の授業の一端を紹介することによって、PRも兼ねて会計大学院の教育方針は何処に置くべきかの問題提供することが第1の趣旨である。

第2には、この第1の趣旨と関連するが、現在では日商の1・2級で見るように簿記検定でもLPが出題項目にあげられている⁽¹⁾。しかし、LPでは試験で出題できる水準や方法と現実の経営実践に適用できる水準とのギャップが極めて大きく、無視できるものではない。そこで、この実践的な専門的教育が試験のための授業と必ずしも両立しないことの具体的な例示をあげることによって、試験のあり方に対しても一つの問題提起をしようというのである。

第3の、この論文の最も大きな目的は管理会計でのパソコンの表計算の利用の重要性を強調することにある。今日の管理会計ではパソコンの利用が不可欠であるが、ここに大きな問題が潜んでいると考えられる。

パソコンの大きな影響の一つに、アルゴリズムの世界の問題であったものを、それになじみの少ない人たちに開放したことを指摘できる。したがって管理会計でも従来の原価計算や利益計画の問題レベルだけの利用では、その影響を十分に取り込んでいるとは言い難い。むしろ意思決定での不確実性の考慮、長期目標と短期目標を同時に達成する計画案の検討、販売予測の適用等多くの分野で、従来

不可能と考えられてきた問題の分析や予測をわれわれの手の届くところに持ってきており、大きな効果が期待できるのである。これらに比べると従来の手計算による分析での解答は、管理者が必要とする情報をどれだけ提供していたか、改めて嘆息する程である。

そこで筆者の授業ではこれらの問題を積極的に取り上げており、機会を見て追々発表して行きたいが、特に今回はパソコンを利用した実践的な水準でのLP問題の解法について取り上げることにする。高度なレベルを目指す管理会計の授業では、多少ともLP問題に触れられるであろうし、そこではパソコンの表計算が利用されているであろう。しかし、こうした解説がみあたらないのである。あるいは専門家の間では熟知されており、筆者の渉猟の不十分さが責めを負うべきなのかもしれないが、少なくとも学生達が参考にして勉強できる状況にないことは確かである。このため学生達に参考文献を指摘できなく、授業でこの方法の詳細な解説が必要となり、相当の時間を費やしている。そこで、筆者が思考するところを公表することによって、批判や提言をえてこの方法の発展と普及の一助になるとともに、今後の授業に役立てたいと考えたのである。

以下の一応まとめた方法では、独立変数4つぐらいの問題はそれほど難しくないが、6つ以上になると結構、表計算の特徴を理解した使い回しが必要になる。後述のキャプラン達のあげるケースの中のウィリアム・レーク林業会社の例などがこれである。ワークシートの作り方によって相当に効率が影響される。そして、この要点を見いだしてまとめるには、相当の時間と手間を必要とするので、筆者一人の能力に依存するよりも、思い切っ

てこれまでにまとまったところを公表することによって多くの人の関心を引き起こし、パソコン時代の管理会計の完成を期待するのである。

ここで掲載する方法は、全く筆者の考えと知識によっているから、思わぬ誤りや不十分さ、あるいは拙劣さ等が含まれているであろうので、大方の指摘と協力を期待するものである。

II LP問題をアルゴリズムの世界から経営実践へ

今日、欧米でも管理会計でのLPの取り上げ方は、グラフ解法やシンプレックス法の説明に終始するのが一般である。そこでは、目標関数や制約条件のアルゴリズムを説明することで終わっている。

これに対して注目できるのが、R. S. キャプラン達のケースである。そこでは経営実践に利用できる水準でのケースとして取り上げている。しかし彼らの書物でも、1989年発刊の第二版では別に準備されたプログラムを利用して最適解を求めるように要求している⁽²⁾。

これはキャプラン達だけに限ったことではなく、1983年発刊のイギリスの管理会計ハンドブックでも、実務ではLPの計算はあらかじめ準備されたソフトやプログラムによって処理されているとしていた⁽³⁾。ともあれ、この時期には管理会計でのLP問題は、グラフ解法やシンプレックス法の説明か、あるいは現実的なケースのレベルでは目標関数や制約条件の定式化というアルゴリズムの世界の問題として取り上げられ、現実実践の問題としてその解答をわれわれが自らの知識による入手は期待されていなかったと言えよう。

後に取り上げるキャプラン達のケースは、彼らケースの内でも最も易しい部類であるが、それでも制約条件は製品数が0以上という非負条件を除いても6つあり、さらに実践的なケースでは、製品数が4つ5つで制約条件が10とか20といった例が見受けられる。こうしたケースに対してはグラフ解法やシンプレックス法は全く役立たない。そのために従来は専用プログラムが利用されていたのであった。

しかし、こうしたプログラムの利用によるのではなく、学生達自身がパソコンに標準的に準備されているソフトを利用して解決できるように教育することが望ましい。これは管理会計でパソコンを利用する能力の向上にも大きく貢献する。こうした実践的な問題に及ばないことには、問題の提起をただけで授業が終わるといった教える側としては歯がゆい事態になりかねない。とって管理会計でLP問題を避けて通るのは、その実践的な意義からして恠怩たるものがある。

こうしたことから、筆者の担当するLEC会計大学院の授業では、管理者への会計情報の提供の観点からLP問題を取り上げ、表計算を利用して学生自身が実践的なレベルで解くことを要求している。この場合に、グラフ解法やシンプレックス法などのアルゴリズムを学んだ学生は、返って途方に暮れるようである点が見落とせない。

アルゴリズムを否定するつもりは毛頭無いし、その知識は後述の変化させるセルの選択では有効である。ここで指摘したいのは、今日のような高性能のパソコンが利用できる時代には、LP問題もアルゴリズムの世界の問題としてではなく、経営実践的問題のレベルで取り上げ、教育するべきということである。以下は、この趣旨に添って今年度にまとめて

学生に提示したものを取り上げたものである。こうした実践的な活用によって、パソコンを通して管理会計の範囲を拡大し、それが行き詰まった問題に対して再びアルゴリズムに解決を求めるといった発展が期待されるのである。そのためにも、パソコンの活用を整理して、その可能な方法と限界を明確にする必要がある。

Ⅲ パソコンでの試行錯誤計算

パソコンによるLP解法ではMicrosoft社のEXCELに準備されたソルバーを利用する。筆者がこの問題を考えるきっかけは、EXCELに準備されているゴールシークやソルバーの特徴に注目したことからであった。目標利益の達成に必要な売上高等は、ワークシートを作成しゴールシークやソルバーを利用すれば容易に解答が得られるばかりか、各種のシミュレーションが可能になる。

この際、ゴールシークやソルバーが手段とするのは、独立変数となるパラメータの値を変化させて、それに応じた従属変数の変化から目標値あるいは最大・最小値を求めるという、旧来からの試行錯誤計算であることに気がつく。これを高速にかつ膨大に実行しているのである。試行錯誤計算は原始的であるが、それだけに強力である。われわれ素人には数学的に解答できない問題でも、制約条件を工夫することで解をうることが少なくない。最適購入量の決定問題でも、経営状況から総費用が購入量の三次式になる場合でも、試行錯誤計算ならば解答が得られるなどの例をあげる。

そこで、これらを利用してLP問題も易しくないアルゴリズムの問題としてではなく、

実践的な経営問題として扱おうのではというのが筆者の発想であった。前述のようなパソコンの影響としてのアルゴリズムから実践的領域への解放の一つの適用例としてLP問題を考えたのである。

この際利用するソルバーの特徴は、次の二点にある。

第1に一つあるいは一連の指定された「変化させるセル」にソルバーのオプションで設定した制限時間と反復回数と精度にしたがって次々と数値を入力して、目的とするセルの値の収束を見いだしていくのであるから、目的セルは単一であることが必要になる。(もっとも、目的セルを指定しないで、変化させるセルの変化に応じた状況の変化をみる方法もある。)したがって、長期の利益計画の策定モデルで、長期と短期の複数目標を同時に達成する計画案の解答を求めるといったことはできない。しかしこれも特徴を理解すれば容易に工夫して策定できる。従来考えもなかった問題範囲にひろがるのである。

第2に表の上のセルに数式を参照入力する形で企業内外の状況を取込むのであるから、LP問題で一般に説明されるような目的関数と制約条件式等のいわゆる定式化は必ずしも必要ではない反面、ワークシートでの参照セルの設定法や諸種の関数、特にIF、AND、OR、NOTといった論理関数を効果的に利用して、変化させるセルから目的のセルまでを繋いで行く必要がある。表の作成の手際の良さが要求されるのである。

これらの特徴に応じて、以下のような手順でソルバーを適用する。

まず、変化させるセルと目標セルとを確定する。

(1) 変化させるセル

変化させるセルでは、そのLP問題で目標に影響する決定要因となる項目の値を入力するセルを選択する。この際、見かけ上の意思決定変数ではなく、実質的に影響する要因を見つけ出すことが必要である。

後にあげるキャプラン等のケースでは、一見したところ二つの工程の作業バッチ数が決定変数であるように見えるし、一般に説明されるLP解法での定式化では、そのように取り上げられている。しかし、後述のように最初の工程での薬品Aの投入量によって両工程のバッチ数と目標となる利益額が決まる。したがってこの薬品の投入量を決定要因にする。

もっとも、表計算ではセルを参照した数式の入力によって関連づけを行って行くのであるから、この投入量の記入セルを「変化させるセル」として設定するほか、この投入量によって変化する第1工程のバッチ数を「変化させるセル」に指定しても全く問題はない。「変化させるセル」の要件はそれに数値が入力されていることだけである。したがって、我々は観察したい値を「変化させるセル」に選んで、他の数値はこのセルの値の変化によって変化するようにワークシートを作成することができるのである。いいかえれば目標値を従属変数にする独立変数の選択で大きな自由を持っており、このことが後述のような問題の拡大に応じて一部の表の修正で容易に対応でき、表計算による実践性を著しく拡大しているのである。

なお、変化させる要因が複数ある場合(いわゆる独立の決定変数が複数の場合)

には、縦あるいは横のセルに並べて設定し、これらをセル範囲として指定すればよいし、少数の場合には飛び飛びのセルを指定しても実行できることも経験している。後の問題の拡大の例に挙げたように、第1工程の半製品在庫を持つ場合には、二つの工程のバッチ数が独立して設定できるのであるから、これらを変化セルとして設定するが、二つの記入セルを縦あるいは横に並べて指定しても、離れているのを指定しても問題なく結果が得られるのである。

(2) 目標セル

目標セルの決定で重要なことは、変化させるセルによって影響される単一のセルを指定することである。複数の目標セルを指定することはできない。

この目標セルは、利益最適的なモデルの場合には、最終の利益でも良いし、変化させるセルに応じて変化する途中のセルでも良い。

たとえば、 $A \cdot B \cdot C$ 製品の販売量の組み合わせによってこれらの製品の限界利益から個別固定費を差し引いた貢献利益と、この各製品の貢献利益の合計から共通固定費を差し引いて営業利益を算定している場合には、目標セルはこの営業利益でも良いし、個別固定費が変化することを含まないならば限界利益の合計でもよい。その後に営業利益を算定する手順を表に含めておけばよい。変化するセルによって影響しない項目までを含めた目標にするか否かは、必要な情報によって選択できるのである。

表計算による解法が非常に有利な理由の一つとして、問題の視点の変化によって目標セルを切り替え、表を多少手直すこ

とで容易に新しい状況に対する分析が可能になることがある。

上の例で、ある販売量の段階で個別固定費が変化する場合に、これに加えて貢献利益の合計の最大化のモデルに切り替えるといったことだけでなく、ある販売量以上では売価の改訂の問題が生じるように付け加えて拡大することも容易に可能である。この目標のセルの入れ替えが容易なことは、先の変化させるセルの弾力性と併せて、従来の定式化を経ての実行に比して、はるかに弾力的な利用を可能にしているのである。

先に触れた長期と短期の利益目標を同時に達成する長期計画案の検討などでも、このソルバーが強力な手段を提供しており、管理会計での利用可能な余地は非常に大きいといえよう。

なお、ソルバーでは目標が最大値あるいは最小値になる結果だけでなく、ある目標値を達成する解答も準備されているから、多種製品の場合に最適の組み合わせのほか、ある利益額を達成する組み合わせといった問題にも対応できることが指摘できる。

(もっともこうした情報は、ソルバーで提供される結果のレポートからも知りうる。)

(3) ワークシートの作成

一般のLP解法では目標に影響するすべての要因について関数の定式化が必要になり、このアルゴリズムの正確さが強調される。ソルバーを利用する場合には、この定式化に相当する作業を変化させるセルから目標セルまでの変化の影響を表を作成することによって行う。

この表の作成は表計算の利用一般と何ら

相違はない。したがってこの経過は、他の管理会計の問題解決のための利用にも共通し、不確実性の考慮等での利用にも役立つが、反面では当然のことながら表計算の特徴を理解していることが必要になる。

公式化することが問題の概念化に有効な場合は、これによって問題を整理すればよく、一般に公式化やその正確性は気にしなくても問題が支障なく解けるようである。複雑な問題では、適切な変数の設定や公式化が学生にとって問題を難しくし、面倒であり、余分なエネルギーを必要とするように思われる。私の授業では定式化は一切問題にしないで省略している。

ワークシートの作成では、変化させるセルの値の変化に応じて、目標セルまで変化が行き渡るように作成すると考えればよい。会計の問題では、一般に利益の最大化か、原価の最小化、あるいはこれらのある値の達成が問題になるので、原価計算か損益計算の計算手順や表を活用すると考えさせている。

この作表の際には、変化させるセルには任意の数値を入れておき、作表に際して期待通りに変化が影響するかを確かめながら作ってゆくと、後述のようにこの仮の数値が解から離れたものであると、途中で計算を終了することが生じる。できるだけ解に近い数値を入れておくことが好ましい。

また、問題設定された数値の入力セルのほか、制約条件になる数値、結果の観察や分析に必要な数値についても、表示し集計するセルを適時設ける。こうした部分を一切設けなくて、後述のシートの例で太い枠線で囲んだ損益計算を行うC27からE38の部分だけを利用しても、数式を適切に入

力しさえすれば実行できるが、問題の確認や事後的な検討や処理、あるいは必要な情報の入手には、結果を得るだけには余分な部分をいかに作るかがポイントになる。

特に制約条件の入力では、後述の「ソルバー：パラメータ設定」のウインドウに直接に記入するだけで可能であるが、制約条件の入力式では右辺の定数は左辺のセル範囲と同一のセル範囲である必要といった条件があるから、この入力を間違いなく効果的に行うには、ここでも余分とも言える表を作成して利用することが効果的になる。たとえば、 $(A34 \leq)$ といった式で右辺もセル参照で指定する場合には、一つのセルでなければならない。そこで制約になる内容を一つのセルにまとめることが必要になる。しかし、一般のLP解法のようにスラック変数を含めて各種の変数について厳密に設定する必要はない。後述のソルバーの結果のレポートが多く必要を満たしてくれるからである。

また、キャプラン達の説明する内部条件の定式化も不要である。表を作成することによってこの関連も組み込んで行けば良く、当然これを組み込まなければ表が完成しないから、特に気にすることもなく実行できる。

この表を作成するために、EXCELに準備された多くの表関数を活用する。ここで財務関数や統計関数は勿論のこと、論理関数（IF、AND、OR、NOTなどの関数）を有効に利用するのである。この論理関数を数段に入れ子にした構文（例。=IF(AND(A36 > =H26, A36 < =B28), G27, (IF(A36 > =H27, G28, (IF(A36 > =H28, G28, 0))))))を使うことによって、相当

に複雑な経営内部的な関連も単一のセルでの数式として処理できる。また多くの複雑な内部的条件は、特別に集計・計算するセルを設定することによって、比較的簡単に表すことができる場合も多い。こうした方法を適切に使用できるように慣れておくことが必要になる。しかし、これらも表計算の利用に共通したことであるから、特別な訓練は不要である。また、表関数のほか、ユーザー定義関数、さらにはマクロなどを含んでも実行できるので、通常のEXCELの利用になれてくれば、複雑な企業の内部関係も容易にワークシートに組み込むことができる。この点もソルバーを利用してLPを解く場合の利点と言ってよいであろう。

(4) 制約条件の確定

次に制約条件を確定する。

制約条件は一般に、①供給市場からの制約、②販売市場からの制約、③経営内的な生産上の制約、の三つがあるので、この三つを順番に考える。①と②は問題から容易に設定できる。③の経営内的制約条件は、本来は長期的な供給市場での制約であるが、短期的な問題で生産能力や可能作業時間数といった形で現れる。

多くの制約条件がある場合には、シート上のセル番地を参照した制約条件一覧表に整理しておいて、これを参照して次のソルバーのウィンドウの記入と確認を行うと便利である。この場合、制約条件を入力するセルに適時にコメントを加えておくと、展開や後での検討、および問題の拡大等有効に行いうる。

EXCELのソルバーでは、制約条件の入力を次に触れる「ソルバー・パラメータ設定」

のウィンドウで行うが、この制約条件の指定ダイアログ・ボックスでの右のボックスの入力は、上述のように左のボックスの入力と同じサイズか、一つであることになっている。この左のボックスには販売量とか作業時間といった単一のセルあるいは集計したセルを入れることが多いので、セル参照の演算式を右のボックスに入れると、この制限に引っかかる。

そこでいちいちこの制限を考慮する煩わしさを避けるには、右のボックスで参照されるセルが単一であるように、あらかじめ算式での結果を入力するセルを設けておくことで簡単にクリアできる。後述の例ではシートのH40からH45の枠で囲んだ部分がこれであり、制約条件の一覧でも、設定場所の表現でこの設けられたセルの場所を示している。

(5) ソルバー・ウィンドウへの記入

以上の手順が終わったら、メニュー・バーの「ツール」、「ソルバー」の順序でクリックして、「ソルバー・パラメータ設定」ウィンドウを開いて、記入する。ソルバーは一つのシートに一つだけ自動的に登録されるから、一つのシートでいくつかのソルバーを実行する場合には、最後に実行されたソルバーのモデルがブックと一緒に記憶される。そこでいくつかのソルバーを残しておきたい場合には、このウィンドウの「オプション」をクリックして、「モデルの保存」を利用して記録しておけば、同じシートで別のソルバーを実行しても失われることがない。次にこのモデルを利用したい場合には、同じ「オプション」の「モデルの読み込み」で読み込む。

またソルバーでは試行錯誤計算を行うのであるから、計算の効率は仮に入力しておいた変化させるセルの数値と、このオプションで設定する反復回数や精度等によって影響される。これらの設定を変更する問題等は、一般のEXCELの利用と同じであるが、この説明はEXCELのヘルプではなく、このソルバーのウインドウに現れる「ヘルプ」にある。

ソルバー・ウインドウの制約条件の入力では、入力が誤りやすく、修正に時間が掛かったりするので、入力が終わった段階で、先の制約条件一覧であげた表と対照して、①制約条件の数を確認し、②次に各制約条件式を順次、一覧表の式と比較対照して確認する、という手順を踏むと間違いが非常に少なくなる。

(6) ソルバーの実行とレポートの利用

以上の準備ができれば、「ソルバー・パラメータ設定」ウインドウの実行ボタンをクリックして、ソルバーを実行する。制約条件が満たされた解答が得られたら、そのレポートのウインドウの解答、感度、条件をクリックして、これらのレポートを適時参考にする。

上述のソルバーのウインドウのオプションで、反復回数を小さく設定したり、精度を必要以上に高く設定すると、制約条件は全部満たしていても十分に収束しないで計算を終わることがある。この場合には、その結果から、再度実行させたり、オプションの設定を修正したりする必要が生じる。この点がソルバーは十分に完成された方法でないとされる理由の一つであろう。

しかし十分に収束しない場合にも、ある

いは「条件レポート」に現れるところの制約条件を満たす下限と上限の値から結果を知りえたり、多少の知識があれば満たされていない制約条件の項目から、容易に解に辿ることができる。また、いわゆるスラック変数の値等も「解答レポート」に表示され、制約条件の値が1単位変化することによって、目標値がどれだけ変わるかは「感度レポート」のラグランジュ乗数で知られるといったように、ソルバーの結果のレポートからは多くの情報が入手できる。このレポートの項目名等の表示を分かりやすく適切にするのに、いくつかの注意点があるが、これらについては省略する。このレポートの各内容の説明は、ソルバーを実行すると現れる「ソルバー 探索結果」のダイアログ・ボックスのヘルプをクリックすると表示される。(EXCELのオフィシャル・マニュアルにはこの内容が印刷されている。)一般のEXCELのヘルプや、ソルバーの「パラメータ設定」のダイアログ・ボックスのヘルプ等からではこの説明は現れない。

(7) ソルバーのマクロでの利用

ソルバーはEXCELのVBAのマクロに記述して利用することも出来た。そこで、不確実性に対応した情報の提供のための分析にLP解法を適用するためには、不確実な要因の変化に対応した最適条件の変化が知られる必要があるが、VBAのマクロを利用して、要因変化に対する目標の変化を確かめることが出来た。たとえば、後述のケースではF薬品の可能販売量800が制約となっていることが知られるが、この可能販売量と達成される限界利益額との間にどのような関数関係が存在するの算定は、付録にあげた

ようなマクロとこれによって作成する表からのグラフと回帰式によって、容易に算定できた。このような計算を電卓を叩いて実行するなどは思いもよらぬことであるから、活用の意義は非常に大きかった⁽⁴⁾。

(8) 付言

EXCELのオフィシャル・マニュアルによれば、ソルバーはまだ完全ではないという。上述のように、制約条件がすべて満たされると、時には最大値に到達する以前に終了してしまうことが指摘できる。また、途中でV字型のトラップがある様な最小値を求める問題ではそこで計算を終了してしまう。しかしワークシートの作り方が解の算定の効率に相当に影響し、これによって途中で終了する結果を避けられることが多い。ともあれ、結果を鵜呑みにするのではなく、十分に最大あるいは最小値に達しているかを確認する必要があることには注意したい。

なおまた、ソルバーはLP解法に利用できるだけでなく、前述のように広範囲に利用できるから、LP計算への利用への熟達は、従来考えられなかった複雑な問題を扱う方法として教育的効果も大きいようである。これによって管理会計の計算処理も、驚くほどの実質的に拡大がえられる。こうしたことから、筆者の授業では、現代的な管理会計のシステムの構築には不可欠の手段の一つとして習熟を要件としているが、ある院生は「パソコンでこんなに分析の可能性が広がるとは思ってもいなかった。」と述懐したことを挙げておこう。

IV ケースへの適用例

以上の手順を実践的なケースに当てはめて解説しておこう。

ここではアメリカでのビジネス・スクールでの問題レベルを例示し、またソルバーによる解法の説明の便宜からも、R.S. キャプランとA.A. アトキンソンの「管理会計論(Advanced Management Accounting)」第2版にあげられているケースに適用することによって、⁽⁵⁾説明を補足することにしよう。

(1) ケースの設定

キャプラン達の管理会計論であげられているところの問題部分を引用すると以下のようである。

(リムスキー化学会社)

リムスキー化学会社は化学材料を製造している。溶剤事業部では2つ工程がそれぞれ一つの機械を使って、数種の製品を製造している。各製品は一定の比率でバッチ生産されている。

第1工程では、薬品A 100キロリットルと薬品B 50キロリットルとを混合して、薬品C 20キロリットル、薬品D 90キロリットル、薬品E 40キロリットルが製造される。このバッチサイズと製品の比率は変えられない。各バッチは10時間の労働時間(これは機械の準備と洗浄に使われる)と3時間の機械運転時間(薬品の混合に使われる)を必要とする。

薬品Aはキロリットルあたり80ドルで購入され、薬品Bは社内で製造に利用されるか(次を参照)、あるいはキロリットルあたり100ドルで外部から購入される。

薬品Cは利用できない副産物で、廃棄のためにキロリットルあたり50ドルの費用がかかる。薬品Dは第2工程で使われる半製

品である。薬品Eはキロリットルあたり100ドルで売ることができる。

第2工程では、薬品D 70キロリットルを加工して、薬品F 60キロリットルと薬品B 10キロリットルが生産される。ここでもバッチサイズと生産比率は変えられない。各バッチは15時間の労働力と5時間の機械運転時間を必要とする。

薬品Fはキロリットルあたり250ドルで社外に販売可能であり、薬品Bは第1工程で使用されるか、社外にキロリットルあたり75ドルの正味実現可能価額をうることができる。

市場が安定していないので生産計画は毎週立てられる。今週の利用可能な労働力と期間運転時間は次の通りである。

機械運転時間	第1工程	75時間	第2工程	80時間
作業者の労働時間	第1・2工程の合計 350時間			

労務部門には2種類の作業者がいる。(1)終身雇用の身分を持ち、仕事のあるなしに関わらずレイオフされない作業者と、(2)必要に応じて雇用される期間雇用者である。作業者はすべて時間あたり10ドルの時間給が支払われるが、終身雇用者には、週40時間分の賃金が保証されているのに対して、期間雇用者は実際働いた時間に対してのみ支払われる。今週の利用可能作業時間350時間のうち、275時間は終身雇用者の作業者の分であり、75時間が期間雇用者の分である。

原価分析によって製造間接費の変動費部分は、直接作業時間1時間あたり8ドルになり、加えて機械1と機械2の運転時間1時間あたり300ドルの変動製造間接費がかかることが知られている。

今週、営業部門は薬品E 300キロリットルを現在の市価で供給する契約を取っている。

さらに営業部長の見積もりでは薬品E、薬品F、薬品Bの最大見込み販売量は、それぞれ400、800、350キロリットルである。

(ただし、薬品Eの最大見込み販売量には既契約分の300キロリットルは含まない。)限界利益を最大化するこの週の実行計画はどのようなか。(以上、問題設定終わり)

以上の問題設定に続いて、キャプラン等の書物では、目的関数の定義、制約条件の定義、全体モデルの説明、L P R O GとよぶLPプログラムを走らせた結果が8頁にわたって説明されているが、ここでは参照の必要がないので省略し、われわれのソルバーによる解法を適用しよう。

(2) ソルバーによる解法

以上の問題の例にソルバーによってLPを適用すると、以下のようになる。

① 変化させるセルの選択

まず変化させるセルを1つないしは1つの範囲として指定する。この例では、上述のように二つの工程の生産バッチ量がそれではない。これらの工程は連続しており、第1工程の半製品の貯蔵の説明はないので、すべて第2工程に回されると読み取りうるから、第1工程の薬品Aの投入量が利益の独立変数になる。しかし二つの工程の生産バッチ数は、その後の薬品の生産販売量や原価の算定に多く参照されるので、便宜のためにワークシートでこれらの値を表すセルを設けているが、独立変数ではない。薬品の投入量に代えて第1工程のバッチ数を変化させるセルにする場合には、薬品の投入量はこれから計算する算式を入力しておく。この場合も、第2工程のバッチ数は決定

変数ではないし、変化させるセルに指定しない。

下に引用したEXCELのシートでは、1行目から26行目までが問題を表の上で記入している部分であり、C27からE39までがLP計算の部分である。この初頭のE27に薬品Aの投入量を記入し、これを変化させるセルとして指定している。このセルには以下に順次入力する数式等が適切に入力されているかを確かめながら進めるために、仮の数値、たとえば100を入れておく。(このケースはキャプラン達のあげるケースの内でも易しい問題であり、この仮の数値を解に近くしておくなくても、途中で計算を中止することは生じない。)

② 目標セル

この例での目標セルは、上の薬品Aの投入量によって生じる限界利益額である。これを何処に設けるかは、ワークシートを作ってゆきながら決定するから、差し当たっては限界利益額であることを意識しておけばよい。結果的にはE39に設けているが、この目標セルの限界利益までを、問題にしたがって変化させるセルから順次参照しながら入力していくのである。

このケースでは、キャプラン達も指摘しているように、固定費は変化しないので取り上げられていない。しかし、これも前述のようにソルバーでは目標セルはワークシートの最終のセルである必要はないから、この目標セルとする限界利益の後に営業利益計算の部分が続いても、一向に構わない。

③ ワークシートの作成

前述のように利益の最適化問題では損

益計算の形を取ることが分かりやすいから、C27からE38の表では薬品Aの投入量に伴う各工程のバッチサイズの後に薬品の収益と原価を上げてゆく。

このバッチサイズの数値を特にこのワークシートに設けないようにする場合には、その後の売上高や原価の算定の算式をそれに応じて作成する。しかし表計算での特徴の一つに、複数に参照される数値や、管理や問題の検討に必要な数値については、表に現れるようにセルを設けるのが有効ということがある。計算上だけならば不要であるが、モデルの修正や検討で必要になる途中経過は、それを表すセルを準備することで、事後の処理や検討あるいは問題の拡大が容易に行うるのである。これは表計算を使い込んだ人ならば容易に理解できるところであろう。

このバッチサイズのセルにカーソルをあわせて、ワークシート分析の参照先トレースをクリックすると、これらの数値が多面的に利用されているところが見られる。

バッチサイズに続く行には各薬品の売上高を入力している。これらの中で、薬品Eと薬品Fの売上高は、それぞれ(=第1工程バッチ数×バッチあたりの薬品E生産量×販売単価)と、(=第2工程バッチ数×バッチあたり薬品F生産量×販売単価)で算定されている。下のワークシートのE30とE31の(=E28*H2*E11)と(=E29*F4*E12)の内容がこれである。

これらに比して、次の薬品Bについては多少の工夫が必要になる。しかし、難

しい問題ではない。ここでの状況を文書化すると、次のようになる。すなわちこの薬品は、（第1工程の消費量が第2工程の生産量よりも大きければ、外部から購入してそれだけの原料費がかかり、小さければ余分な部分が外部に販売されて収益が生じる）ということである。この括弧の部分を論理関数を使って数式化すれば良い。文字で表せば次のようになる。

IFの論理関数は、=IF(論理式, 真の場合, 偽の場合) で使用されるから、

=IF((第1工程消費量-第2工程生産量) >= 0, - (第1工程消費量-第2工程生産量) × 単位購入価格, (第1工程消費量-第2工程生産量) × 販売単価)

これをセル番地で表すと、E32に入力されているのは、

=IF((E28*F1-E29*H4) >= 0, - (E28*F1-E29*H4) *D8, (E28*F1-E29*H4) *E8)

の数式である。一見複雑そうに思えた薬品Bの損益計算書のセルへの入力もこれだけで完了する。

次の薬品Aの原料費から薬品Cの処理費までは疑問の余地はないであろう。すなわち薬品Aの原料費はE27の投入量に購入単価を掛けたものであり、対作業時間の変動間接費は、第1・第2の二つの工程のバッチ数にバッチあたりの作業時間を乗じた合計の作業時間に時間あたりの変動間接費を乗じたものであり、対機械運転時間の変動間接費は同様に機械運転時間の合計に時間あたり変動費を乗じたものである。また薬品Cの処理費もバッチ数にバッチあたりの産出量と単位あたりの処理費を乗じて計算すればよい。

これらに対して、臨時雇用賃金は多少の工夫が必要になるが、これもIF論理関数を用いて作業時間の合計から利用可能な終身雇用者の作業時間275時間を引いた残りが、0よりも大きければ、それだけの賃金が支払われるのに対して、小さければ何も生じないという内容で処理できる。E37に入力されているIF構文の数式は上述の意味のものである。

以上に加えて残ったのは、薬品Eで既契約の分が300キロリットルあることであるが、これは制約条件で処理可能になる。

以上から目標セルとなる限界利益を算定するようにすれば、ワークシートの作成は終わる。

④ 制約条件の設定

これも前述したように、「ソルバー：パラメータの設定」ウインドウで直接に入力すれば、表の上の表すことは必ずしも必要ないが、もっとも混乱し間違えるのがこの制約条件の設定入力の部分であるから、表の上でこの対応をすることにしている。

そこで制約条件の設定では、シートの諸方に点在している数値を参照し、あるいは種々のセルの値を演算して一カ所にまとめて整理すると有効であり、学生にはそのように指示している。ワークシートではC41からF48に要点をまとめ、H41からK46に現在のA薬品投入量に対する値と制約条件になる値を、シートの各種からあるいは演算し、あるいは参照して集めている。

このようにまとめることによる別の効用もある。「ソルバーのパラメータ設

定」ウインドウでの制約条件の設定では、一括して設定する方法も採れる。これによると、いちいち設定する労力と気苦労が省略できる。すなわち、制約条件の入力で、通常は、(J41<=I17) (J42<=E18) (J43<=E19) …といった設定を繰り返さなければならないが、このようにK41からK46の一行所に対応して設定することによって、この範囲をドラッグして、(\$J\$41:\$J\$46<=\$K\$41:\$K\$46)と一つで設定できる。これに加えて薬品Eの販売量の下限を(\$J45>=\$E\$25)を追加すれば、このケースでの制約条件の設定と入力が終わる。なお、このケースでは一般に制約条件として加えられるところの、J41からJ46が、J44を除いてプラスである

という非負条件の設定は行わなくてもよい。結果を見て必要であれば付け加えることで済ましよう。

⑤ 実行と結果のレポートの利用

予定されている枚数も超過してきたので、以下では要約的にとどめるが、メニュー・バーのツールからソルバーを開くと、「ソルバー：パラメータ設定」のウインドウが開くので、これに目的セル、目標値、変化させるセル、および制約条件を設定し、実行ボタンをクリックすると、損益ワークシートの薬品A投入量が1037.04になり、目標セルの限界利益は106,815となつて、「ソルバー：探索結果」ウインドウに「最適解が見つかりました。制約条件はすべて満たされまし

1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
2	製造状況	第一工程	A薬品	100	20	A薬品	50	を機械1で混合し																
3			C薬品	20	C薬品	90	E薬品	40	を生産															
4		第二工程	D薬品	70	からF製品	80	と薬品B	10	が生じる															
5			F製品	15	と機械運転時間	5																		
6	薬品状況	購入価格	販売価格	販売費用																				
7	A薬品	購入材料	80																					
8	C薬品	購入材料	100	75				自製以外は購入、余剰部分は販売																
9	D薬品	廃棄物						50																
10	E薬品	半製品							期首半製品貯蔵タ	0	貯蔵タ	100												
11	F薬品	副産物																						
12	F薬品	製品																						
13	作業者の状況	時間給																						
14																								
15	終身雇用	週40時間																						
16	臨時雇用	働く時間のみ発生																						
17		利用可能な時間																						
18	機械の条件	機械の制約時間	第1工程																					
19			第2工程																					
20	原価状況	変動間接費(1時間あたり)																						
21			対直接作業時間																					
22			対機械運転時間																					
23		販売市場の制約条件	最大可能																					
24		E薬品																						
25		E薬品	既契約																					
26		F薬品																						
27		A薬品投入量																						
28		第1工程ロット数																						
29		第2工程ロット数																						
30		E薬品売上高																						
31		F薬品売上高																						
32		C薬品費用または収益																						
33		A薬品原料費																						
34		変動間接費(対作業時間)																						
35		75 変動間接費(対機械時間)																						
36		C薬品処理費																						
37		臨時雇用員賃金																						
38		限界利益																						
39																								
40		制約条件	設定場所																					
41		作業時間	J41																					
42		運転時間	J42																					
43			J43																					
44		薬品B	J44																					
45		薬品C	J45																					
46		薬品D	J46																					
47		薬品E	J47																					
48		薬品F	J48																					
49		薬品EとFは在庫の無いモデルであるから市場制約的販売量の制約																						
50																								
51																								

た。」と表示される。

この結果は、各工程のバッチ数、薬品Bの購入量や購入額、作業時間、機械運転時間、その他スラック変数等についてキャプラン等の書物結果と同じになることが確認できるし、また表のE27の薬品A投入量を種々に変化させて制約条件内で限界利益の変化を観察しても、これが限界利益を最大にする値であることが確認できる。

この「ソルバー：探索結果」ウインドウのレポートのリストボックスにある「解答」「感度」「条件」のレポートを利用することによって、いろいろに役立てうるが、ここでは省略し、拡張した利用の例を挙げておこう。

V 利用の拡大その他

キャプラン等の著書では、このケースの解がA薬品の投入量1,037（第1工程のバッチ数で10.37）であるのに対して、これは分割したバッチが可能であることを前提としており、バッチ単位が整数のバッチ単位でしか実行できない場合には、最適値をうるためには「混合整数計画法」と呼ばれるさらに複雑な解法による必要があるとしているが、この問題を考えてみよう。

ソルバーでは制約条件に整数値を選びうるが、これが利用できるのは変化させるセルについてだけである。そこでこれを利用してキャプラン等の言うところの整数のバッチ単位で最適値を見いだす問題に拡大してみよう。

まず上述のように第1工程で製造した薬品Dを全量第2工程に送る設定では、第1・第2両工程で整数値のバッチ生産を行うには、

バッチあたりのD薬品の第1工程の生産量と第2工程の消費量の比である9：7の数値の共通公倍数のバッチ数しか選択できないから、問題にならない。そこで薬品Dについて第1工程と第2工程の間に半製品貯蔵タンクを設けて過不足分は一時的に貯蔵しようと問題を拡大し、この貯蔵タンクの容量は最大で100キロリットルであり、現在は0であり、この在庫評価は予定原価で行われるという条件を加える。

(1) これによって必要になるワークシートの修正は、次の諸点だけである。

変化させるセルを、第1工程と第2工程のバッチ単位数に変える。それにとまって、これらのセルは数式ではなく数値が入力される必要があるから、第1工程のバッチ数に適切な値（これまでのところから、10）を、第2工程にも10を入れておく。次にA薬品の投入量はこれによって変わるから、このセルには（=E28*D1）すなわち（第1工程のバッチ数×バッチあたりの薬品A消費数量）に入れ替える。

(2) 制約条件の変更がいくつか必要になる。

① 制約条件のまとめで、薬品Dは「全量投入であるから制約条件にならない」としていたところが、次のように変わり、これに応じて従来のものに下の制約条件を加える。

いま、半製品貯蔵タンクの在庫がセルE10に記入されるとすると、次のような制約条件を加える。

$0 \leq \text{第1工程バッチ数} \times \text{バッチあたり生産量} - \text{第2工程バッチ数} \times \text{バッチあたり消費量} + \text{期首在庫量} \leq 100$

$$0 < = E28 * F1 - E29 * D4 + E10 < = 100$$

ソルバーの制約条件の設定では、0以上と、100以下の二つに分けて設定する。

② 第1工程と第2工程のバッチ数について整数である制約条件を加える。

以上の修正でソルバーを実行すると、第1工程バッチ数11、第2工程バッチ数13であり、このときの限界利益額65,860が得られる。そして制約条件の各数値は先の例と同様に、J41からJ47の部分にあらわれており、これによって薬品Dの中間在庫は80キロリットルであることが知られる。これらの結果が現れているのが以下の拡大したケースのシートである。このシートではワークシートと制約条件の部分だけを表示するようにしている。な

お、在庫費用は計算に全く影響していないことも確認できるが、詳細は省略する。

(3) 問題の拡大と複雑化の可能性

以上のようにソルバーによるLP解法では、新しく問題を付加して拡大することも容易に行うのはこの例に限ったのではない。授業でのかなり複雑な数字モデルによる長期・短期の目標を達成するためのシミュレーションでも、当初は簡単なケースから出発して、条件の追加によって容易により複雑なモデルに拡大して利用している。これは前述したように、表計算の大きな長所である。この長所を十二分に活用するような展開を考えてゆく可能性に注目できる。

制約条件	設定場所	制約条件	現在値	制限量or額
作業時間	J41	$E28 * E3 + E29 * E5 < = I17$	280	350
運転時間	J42	$E28 * H3 < = E18$	30	75
	J43	$E29 * H5 < = E19$	60	80
薬品B	J44	$E28 * F1 - E29 * H4 < = D24$	-380	350
薬品C	全量廃棄処分だから制約条件にならない。		400	700
薬品D	J47	$0 < = E28 * F2 - E29 * D4 + H10 < = K10$	720	800
薬品E	J46	$E25 < = E28 * H2 < = Q25$	60	100
薬品F	J45	$E29 * F4 < = D26$		
薬品EとFは在庫の無いモデルであるから市場制約が販売量の制約				

VI 一応のまとめ

予定された枚数を大幅に超過しているので、要点的に最初の問題の提案に対するまとめをあげておこう。

この論文の第1と第2の趣旨については問題の提案を行うのであるから、これ以上は詳述しないが、新しい会計大学院の管理会計の授業レベルは、キャプラン達のあげるケースも十分に視野に入れたものでありたいと考えるのは筆者だけであろうか。そして、こうしたケースではグラフ解法やシンプレックス法を知っている学生が全く手が出なかったこと

をみると、日商簿記でLPを出題範囲とすることだけでは、実践的にどれだけの意味があるのかと疑問に思われることになる。

第3の趣旨については、ワークシートの作り方によって相当に現時点でのソルバーの弱点をカバーできるように思われるのであるが、このためにはパソコンの表計算の利用法の整理と系統化が必要のように思われる。これについての協力を期待しているのである。その利用の範囲も大きいだけに、これによる管理会計の可能性の拡大は少なくないことが実感されるのである。

<注>

- (1) わが国の日商簿記検定の工業簿記・原価計算の1級と2級では、直接原価計算に関連してLPが出題の範囲に収められている。
- (2) Robert S. Kaplan & Anthony A. Atkinson, *Advanced Management Accounting*, 2nd. ed., 1989, pp. 62-92. 浅田孝幸・小倉昇監訳、『キャプラン 管理会計』上巻。59-93。
ただし、1998年の第3版では、第2版のリニア・プログラミングの章自体がなくなり、第2章の Short-Term Budgeting, Resource Allocation, and Capacity の章で資源配分の問題として取り上げられており、第2版と同じLP問題についても準備されたプログラムの指定はなくなっている。これについては差し当たって問わない。
(3rd. ed., pp. 47~.) なお、第3版では、このリムスキー化学会社のケースは削除されているが、より問題として難しいアルバートン水産加工会社やウィリアム・レーク

林業会社のケースは残されている。

- (3) *Handbook of Management Accounting*, ed., by David Fanning . Gower Publishing Company Ltd., 1983, p. 95.
- (4) ごく最近になって、このマクロでのソルバーの利用が出来なくなっている。また、表関数から一連のソルバー関係のものが削除されている。その理由は説明も見当たらず不明である。
- (5) Robert S. Kaplan & Anthony A. Atkinson, *Ibid.*, p66~. 訳、64頁以降。の Rimouski Chemical Worksのケース。

<付録：制約条件であるF製品の販売量と限界利益の関連表の作成マクロ>

以下のコードを、本文中のリムスキー化学社のEXCELシートのVisual Basis Editorに記入し、シートのC55からP55にF製品の販売量を600から925までを25区切りで入力しておく、C56からP56の範囲にそれに対する限界利益額が表示される。(600以下で

は解が見つからなく、921以上では機械の制約条件が影響する。) これらの回帰分析から、決定係数が1である二次式、
$$Y = -0.015X^2 + 153.81X - 6589.4$$
が得られる。

「Sub リムスキー社の制約条件であるF薬品販売量の影響の分析()

Dim a%, b%, c%

a = 55

b = 2

For c = 1 To 14

SolverReset

ActiveSheet.Cells(26, 4).Activate

ActiveCell.Value = Cells(a, b + c).Value

SolverOK SetCell:=Cells(38, 5), MaxMinVal:=1, ValueOf:=0, ByChange:=Cells(27, 5)

SolverAdd CellRef:=Cells(41, 10), Relation:=1, FormulaText:=Cells(41, 11).Value

SolverAdd CellRef:=Cells(42, 10), Relation:=1, FormulaText:=Cells(42, 11).Value

SolverAdd CellRef:=Cells(43, 10), Relation:=1, FormulaText:=Cells(43, 11).Value

SolverAdd CellRef:=Cells(44, 10), Relation:=1, FormulaText:=Cells(44, 11).Value

SolverAdd CellRef:=Cells(45, 10), Relation:=1, FormulaText:=Cells(45, 11).Value

SolverAdd CellRef:=Cells(46, 10), Relation:=1, FormulaText:=Cells(25, 5).Value

SolverAdd CellRef:=Cells(45, 10), Relation:=3, FormulaText:=Cells(45, 11).Value

SolverSolve

ActiveSheet.Cells(38, 5).Select

Selection.Copy

ActiveSheet.Cells(a + 1, b + c).Select

Selection.PasteSpecialPaste:=xlValues

Next

End Sub

(上の注(4)で述べたように、現在ではこのプログラムは突然動かなくなっている。何らかの不都合が生じたためであろうが、再び利用できるようになることを期待している。)

<後注>

ここで引用したEXCELのワーク・シートはLEC会計大学院ホームページ

(<http://www.lec.ac.jp/graduate-school/accounting/system/kiyou.html>)にて公開しております。

閲覧するためには、下記のユーザー名とパスワードが必要になります。

ユーザー名 : kiyou2

パスワード : 070330