

論文

銀行のリスク管理のための
多目標単純リコース確率計画ALMモデル

枇々木 規雄*

福川 忠昭†

<論文要旨>

日本の銀行は金融の自由化・国際化の影響を受け、厳しい経営を迫られている。このような経営環境の中で、銀行は様々な規制の下でリスク管理を十分に行いながら、利益をあげる必要がでてきた。本論文では、銀行のリスク管理手法であるALM(資産負債管理)の考え方を利用し、不確実性を考慮した多目標単純リコース確率計画ALMモデルを提案する。このモデルの特徴は、銀行経営にとって重要になってきているBIS(国際決済銀行)の自己資本比率規制に含まれる確率的要素を確率制約式として取り扱うなど、不確実性を考慮しつつ、トレードオフの関係にあるリスクと利益という多目標を取り扱うことができることである。そして、このモデルによってALMの問題を解く方法論として、単純リコース型の確率計画法における確率制約式と目標計画法における目標制約式との両方を一度に取り扱う方法を提案する。

<キーワード>

資産負債管理, 銀行経営, リスク管理, 目標計画法, 単純リコース確率計画法, トレードオフ

1993年 8月 受付

1993年12月 受理

*慶應義塾大学助手 (理工学部管理工学科)

†慶應義塾大学教授 (理工学部管理工学科)

1. はじめに

1990年代に入り、日本の銀行は金融の自由化・国際化の影響を受け、厳しい経営を迫られている。1993年6月には定期性預金の金利が自由化され、スケジュール通りに自由化が進展すれば、1994年度には流動性預金も含めたすべての預金金利が完全に自由化される予定である。また国際的に業務を行う銀行は、BIS (Bank for International Settlements; 国際決済銀行) 規制によって自己資本比率を8%以上に保つことが義務付けられていることに加えて、新たな規制も予想される。このように経営環境が大きく変化する中で、銀行は様々な規制の下でリスク管理を十分に行いながら、利益をあげる必要がでてきた。

一方、銀行経営の財務計画問題に対して、様々な数理計画モデルが提案されている。多目標の達成を目指すモデルとして、Booth & Bessler [1] の利益と金利リスクを目標とするモデル、Giokas & Vassiloglou [3] の総収益、自己資本比率、流動性比率、預金高、貸付高を目標としたモデル、Korhonen [12] の期待利益、リスク、流動性、資本の充実性などを目標としたモデルが提案されている。この他にも、Langen [14] の金利リスク、信用リスク、為替リスクなどを取り扱う多目的計画モデル、Tayi & Leonard [16] の利益、資本充実度、リスクアセットを目標とする多目的計画モデル、そしてKusy & Ziemba [13] の不確実性を考慮した多期間確率線形計画モデル (単純リコースモデル) が開発されている。

そして、枇々木・福川 [5,6,7,8,9] はALMの考え方に基づいて、利益とリスクのトレードオフの関係をうまく表現できる銀行のリスク管理のためのモデル化を行った。1計画期間問題 [5] を基本モデルとして、多計画期間モデル [6,7]、通貨別 (多通貨) モデル [8,9] へと拡張を行った。これらのALMモデルは、「ある一定の市場環境及び銀行がかかえる制約の下で、銀行が目指す目標を達成するためにはどのような方策が必要かということを見い出す。そしてさらに市場環境や制約が変わったときにはどうなるかなどを調べることにより、銀行のALMを支援する」確定的なモデルであった。

それに対し、不確実性を考慮したモデルには様々なものが考えられるが、本研究ではパラメータの一部を確率分布として与える多目標単純リコース確率計画モデルによるアプローチを試みる。この単純リコース確率計画法によるモデル化は、すでにKusy & Ziemba [13] によって提唱されているが、本研究では、銀行経営にとって重要になってきているBISの自己資本比率規制も確率制約式として取り扱うなど、不確実性を考慮しつつ、トレードオフの関係にあるリスクと利益という多目標を取り扱うことができるモデルを提案する。その特徴は2節において述べ、その定式化は3節に示す。なお、このモデルに関する数値実験は、枇々木・福川 [10] において詳しく記述されている。

2. 不確実性を考慮したALMモデル

2.1. 確定モデルから確率モデルへ

確定モデルは想定されるある一つの状況の下で、最適解を求めるためのモデルである。モデルで取り扱うパラメータは、その状況の下ではすべてある一つの値に決まっており、モデルの中に不確実性を取り入れていない。確定モデルは、そのモデルに基づいてALMの問題を解くときに設定する問題の状況が実現した場合に、銀行にとって最も望ましい方策を与えてくれる。また、パラメータがすべて確定値なので、モデルで与えられた問題を解く方法論として通常の数理計画法を用いることができるという良さもある。しかしながら、取り扱うパラメータを前もって確定できるとは限らないので、確定モデルではパラメータの値を様々に変えてみて得られた結果を吟味することで対応する必要がある。つまり、確定モデルでは異なるパラメータ値毎に解が得られ、それらを検討することによってパラメータの変動を考慮した意思決定を行うものとしている。しかしながら、パラメータの変動を前提とした解をモデルで与えられた問題から直接求めることはできない。このような場合には確定モデルではなく、不確実性を考慮したモデルの構築が必要になる。

すなわち、これらのパラメータのうちで確率的に変動するものは確率的なものとして、つまりある一定の確率分布に従う確率変数として取り扱う必要がある。こうした扱いのモデルを以降、確率モデルと呼ぶ。

確率を含む数理計画問題は、その取り扱い方の違いによって大きくリコース問題（二段階問題）と機会制約条件問題とに分けられる。これらの問題を簡単に記すと、まずリコース問題では、確率制約式が成り立たない場合に生じる影響（成り立たない場合の量にその確率を掛けたもの）を最小化するように問題を取り扱う。他方、機会制約条件問題では確率制約式が成り立たない確率を最小化するように問題を取り扱う。ここで問題を与えるALMモデルは「リスクが発生した場合に、どの程度量的な影響がでるか、そしてそれらに対応するためにあらかじめどのような方策をとるべきか」という考え方に基づいたものである。従って、モデル化を行う場合、機会制約条件問題よりもリコース問題としてモデル化した方が、この考え方に合っているものとする。

そして、実用的に問題を解くことを考慮して、単純リコース型のモデル化を試みることにする。

2.2. 単純リコース確率計画問題とは

2.2.1 単純リコース問題の定式化

次のような問題 P_1 を単純リコース問題という [11,18,19].

$$\begin{aligned}
 P_1: \min \quad & \sum_{j=1}^{ns} c_j x_j + E \left[\min_{y_i^+, y_i^-} \sum_{i=1}^{ms} (p_i y_i^+ + q_i y_i^-) \right] \\
 \text{s. t.} \quad & \sum_{j=1}^{ns} a_{i,j} x_j + y_i^+ - y_i^- = \tilde{b}_i, \quad (i = 1, \dots, ms) \\
 & x_j \in Fs \\
 & x_j, y_i^+, y_i^- \geq 0 \\
 & (i = 1, \dots, ms, j = 1, \dots, ns)
 \end{aligned} \tag{1}$$

ここで、 x_j は決定変数、 y_i^+ 、 y_i^- はリコース変数、 p_i 、 q_i は各々のリコース変数に対するペナルティコスト係数、 $\tilde{b}_i$ は確率変数、 Fs は実行可能空間を表す。また、 c_j はコスト係数、 $a_{i,j}$ は確率制約条件式の係数を表す。 ns は決定変数の数、 ms は確率制約式の本数とする。 $E[\cdot]$ は期待値を表す。そして、 $\min$ は最小化するという意味であるのに対し、 $\min_{y_i^+, y_i^-}$ は y_i^+ と y_i^- について最小化した値という意味を表している。

ところで、目的関数の第2項は確率制約式が成り立たない場合の期待値にペナルティを与えたものである。従って、リコース変数は経済的には制約が破られたときにペナルティを受ける量（金額）という意味を持つ。

この問題 P_1 は、次の問題 P_2 と等価である（導出過程は石井 [11] pp.14-15 を参照されたい）。

$$\begin{aligned}
 P_2: \min \quad & \sum_{j=1}^{ns} \left(c_j - \sum_{i=1}^{ms} p_i a_{i,j} \right) x_j \\
 & + \sum_{i=1}^{ms} (p_i + q_i) \left\{ \left(\sum_{j=1}^{ns} a_{i,j} x_j \right) F_i \left(\sum_{j=1}^{ns} a_{i,j} x_j \right) - \int_{-\infty}^{\sum_{j=1}^{ns} a_{i,j} x_j} \tilde{b}_i dF_i(\tilde{b}_i) \right\}
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\text{s. t.} \quad 0 \leq x_j \in Fs, \quad (j = 1, \dots, ns)$$

ここで、 $F_i(\cdot)$ は累積分布関数を表す。また、この問題 P_2 の目的関数の第1項目は線形であるが、第2項目は一般に非線形な項となる。しかし、全体としては凸関数であるので、全域的な最適解が保証される（証明は石井 [11] pp.15-16 を参照されたい）。

ところで、問題 P_2 では分かりにくいので具体的に確率分布を挙げて問題を示そう。例えば、確率変数 $\tilde{b}_i$ の確率分布が図1に示すような有限で離散型（確率変数のとり得る値が $r_{i,1} \dots r_{i,l_i}$ で、それらの生じる確率が $f_{i,1} \dots f_{i,l_i}$ である離散分布）の場合は次の問題 P_3 のようになる（導出過程はWets [19] pp.223-227 を参照されたい）。

$$\begin{aligned}
 \text{P3: } \min \quad & \sum_{j=1}^{ns} \left(c_j - \sum_{i=1}^{ms} p_i a_{i,j} \right) x_j + \sum_{i=1}^{ms} (p_i + q_i) \left(\sum_{k=1}^{l_i-1} F_{i,k} y_{i,k} + y_{i+} \right) \\
 \text{s. t. } \quad & \sum_{j=1}^{ns} a_{i,j} x_j + y_{i-} - \sum_{k=1}^{l_i-1} y_{i,k} - y_{i+} = r_{i1} \\
 & 0 \leq y_{i,k} \leq \delta_{i,k} \\
 & x_j \in Fs \\
 & y_{i-}, y_{i+}, x_j \geq 0 \\
 & (i = 1, \dots, ms, j = 1, \dots, ns, k = 1, \dots, l_i - 1)
 \end{aligned} \tag{3}$$

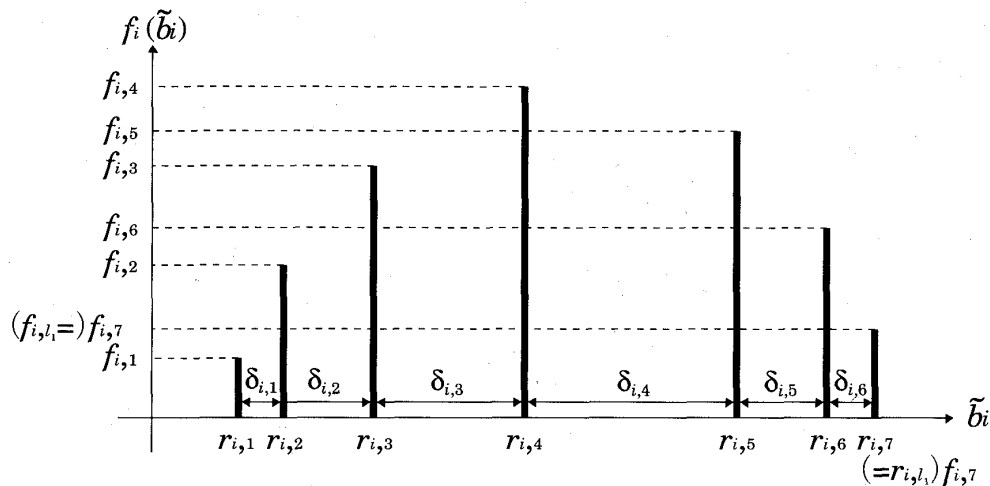


図1 離散分布の確率密度関数の例 (確率変数のとり得る値の数: $l_i=7$)

ただし, $F_{i,k} = \sum_{s=1}^k f_{i,s}$ ($k = 1, \dots, l_i$), $\delta_{i,k} = r_{i,k+1} - r_{i,k}$ ($k = 1, \dots, l_i - 1$) とする.

確率分布が離散分布の場合, 問題P3のように目的関数の第2項目も線形となるので, 線形計画問題として取り扱うことができる.

2.2.2. 単純リコース問題の特徴と欠点

ところで, 単純リコース確率計画問題の特徴と欠点を整理すると一般的に次の点を挙げることができる.

【特徴】

A-1. パラメータに対し, 離散分布, 連続分布のどちらでもこれらに従う確率変数として取り扱うことができる.

A-2. 目的関数 (ペナルティコスト関数) は, 確率分布が連続の場合には非線形凸関数, 離散の場合には線形関数になり, 全域的な最適解が保証される.

【欠点】

B-1. 各々の確率変数が独立であると仮定して問題を解くことになるが、このことは一般に現実的ではない。

B-2. 確率制約式の右辺の部分に確率変数を設定するので、確率制約式の中に確率変数は一つ（または、一つとして取り扱えるもの）に限られる。従って、確率変数として取り扱えるパラメータは、「対象は共通であるが、独立の動きをする決定変数（または、決定変数を組み合わせたもの）が存在するもの」に限られざるを得ない。例えば預金を対象にすると、確率変数には調達できそうな預金の上限額、決定変数には調達したい預金額を設定する。

ところで、前述のように単純リコース問題では確率制約式の右辺の部分にしか確率変数を設定できず、すべての不確実性への対処をすることはできない。しかしながら、すべての係数を確率分布に従う確率変数としてそれらの不確実性を考慮しようとした場合には、モデルを利用して問題を解くことが実際上不可能になる。不確実性を考慮する範囲と実際のモデルの運用（計算）可能性はトレードオフの関係にある。

2.3. 多目標単純リコース確率計画ALMモデルの特徴

確率計画問題の単純リコース型のモデル化は、Kusy & Ziemba [13] が行っている。このモデルと本研究で提案するモデルは、

- a. 単純リコース型の確率制約式を用いて不確実性を表し、それに対する方法論（確率計画法）を利用する。
- b. 計画期間が多期間である。

という共通点はある。しかし、本研究で提案するモデルには、Kusyらのモデルとは異なる次の3つの特徴を持っている。

(1) ALMという視点からのモデル化

リスク管理であるALMの視点からモデル化を行っている。すなわち、金利変動リスクを目標の一つとし、制約として流動性リスクを考慮している。Kusyらのモデルにも、定義の異なる指標を通じて流動性リスク制約が含まれているが、ALMにおいて管理の中心としている金利変動リスクは考慮されていない。

(2) 多目標を取り扱うことができるモデル化

銀行は、利益を最大化するという単一の目標だけではなく、多くの目標を持っている。本モデルではこれらの多目標を同様に扱うことができる。ただし、以下に示すモデル

では不確実性を考慮しつつ、利益及びそれとトレードオフの関係にある金利変動リスクを目標とするものに限定して、多目標計画モデルを提案する。このモデルを解く方法論として、目標計画法[2]を用いることができる。ただし、不確実性も考慮するために、3.5節で提案する方法によって解くことになる。

(3) BISの自己資本比率に関する確率制約式の導入

BISによって決められている自己資本比率を求める際の自己資本には株式の含み益を算入することができる。株価は非常に不確実に変動するため、その制約式を確率制約式として考慮する。BISの自己資本比率に関する規制は今後の銀行の経営活動にとって重要であり、この制約式を用いることでその影響も検討できる。

3. 多目標単純リコース確率計画ALMモデルの定式化

不確実性を確率分布として取り扱いつつ、銀行が目指す目標を達成するためのモデル化を試みる。不確実性を扱う問題を解く方法論として2.2節で簡単に説明した単純リコース型の確率計画法を用いるが、この方法論では多目標を取り扱う問題を解くことができない。というのは、単純リコース型の確率計画法の目的関数は通常のコスト関数とペナルティコスト関数の和を最小化（もしくは、利益からペナルティコスト関数を引いた値を最大化）するという、1つの目的しか取り扱っていない。そこで、本研究では従来のモデル（目標計画モデル）で与えられた問題を解く方法論として用いる目標計画法における目的関数のリグレットを最小化する定式化と組み合わせて、目標と不確実性を同時に取り扱えるような目的関数（及び目標制約式）に対する考え方並びにそのモデル化を3.5節で提案する。ただし、このモデル化は一般的な方法論としてではなく、提案するALMモデル（または、似た構造を持つモデル）に対して適用可能なものとして開発している。

なお、本モデルは既発表の確定的な多期間モデルの拡張であるので、紙面の都合上詳しい指標などの求め方については、枇々木・福川 [5,6] を参照されたい。

以下、本論文で一貫して用いる記号は次の通りである。

(1) 基準期間

下付添字 t で、「 t 期以内の」ということを表す。基準期間数は T_t で示す($t = 1, \dots, T_t$)。

(2) 計画期間

下付添字 k で、「 k 期における」、または「第 k 期から数えて」ということを表す。計画期間数は $T_k + 1$ で示す($k = 0, \dots, T_k$)。

(3) 金利体系

下付添字 j で、金利体系の番号を表す。金利体系の数は n で示す($j = 1, \dots, n$)。

(4) パラメータの記述ルール

確率変数として与えられるパラメータには、その記号の上に"~"を付ける。確定的な変数としてのパラメータには何も付けない。

3.1. 変数の設定

本モデルは、「何（例：預金、貸出金など）を、いつ（例：現在、3カ月後など）、どのくらい（例：10億円ぐらい、など）、調達や運用を行うか」という方策を決定する問題についてのモデルである。そこでは最適方策を k 期($k = 0, \dots, T_k$)における満期の期間が u_i の i 勘定科目の調達や運用額の増加または減少額を表す決定変数 x_{i,k,u_i}^{sb} (x_k を定式化の中での省略形とし、増加ならば正、減少ならば負の値をとる)の値で与える。ここで、決定変数に用いられている添字は次のことを示す。

sb ：オンバランスの資産を AN 、負債を LN で表す。そして、オフバランスの資産勘定を AF 、負債勘定を LF で表す。 $sb \in \{AN, LN, AF, LF\}$

i ： sb 毎の勘定科目の番号を表す。 $i = 1, \dots, m$, $m \in \{m_1, m_2, m_3, m_4\}$

(m_1 ：資産の科目数, m_2 ：負債の科目数, m_3 ：資産勘定の科目数, m_4 ：負債勘定の科目数)

利益 $RT_k(x_k)$ や金利変動リスク $KH_{k,t}(x_k)$ などは、この決定変数を用いて記述できる（決定変数の関数となる）が、これらの変数を補助変数と呼ぶ。各資産や負債のポジションも決定変数によって記述できるが、これらはポジション変数と呼ぶ。補助変数及びポジション変数には決定変数の関数であることを示すために、 (x_k) を付ける。本モデルでは決定変数及びそれによって記述できる補助変数やポジション変数の他に差異変数 d^+, d^- , リコース変数 y^+, y^- を用いる。

3.2. 目標の設定

目標として、利益及びそれとトレードオフの関係にある金利変動リスク、そして将来金利が変動したときに利益の増加を目指す金利体系毎の金利ギャップの3種類を設定する。

(1) 利益に関する目標

k 期における利益 $RT_k(x_k)$ は各々の資産や負債のポジションに利率を掛け、それらを合計して求める。各期の利益は大きい方が望ましいが、銀行はトレードオフの関係にある金利変動リスクに対する目標も達成したいと考える。従って、この程度利益を達成すれば良いという満足レベルを $S_{1,k}$ 、少なくともこれだけは達成したいという必要レベルを $(S_{1,k} - \lambda_{1,k})$ と設定すると、利益目標制約式は(4)式のように示すことができる。

$$RT_k(\mathbf{x}_k) + \lambda_{1,k} \cdot (d_{1,k}^- - d_{1,k}^+) = S_{1,k}, \quad (k = 0, \dots, T_k) \quad (4)$$

この目標制約式に対応する目的関数は(5)式で書くことができる。

$$\min \quad P^{11} \cdot \left(\sum_{k=0}^{T_k} w_{1,k}^- \cdot d_{1,k}^- \right) - P^{12} \cdot \left(\sum_{k=0}^{T_k} w_{1,k}^+ \cdot d_{1,k}^+ \right), \quad P^{11} \gg P^{12} \quad (5)$$

ただし、 $w_{1,k}^+$, $w_{1,k}^-$ は利益に関する目的関数におけるウェイトの値、そして、 $d_{1,k}^+$, $d_{1,k}^-$ は利益に関する目標制約式の差異変数を表す。また、 P^{11} , P^{12} は優先順位を表す係数（絶対順位係数）を示す。この目的関数はまず、 P^{11} 優先順位で利益を満足レベルまで達成しようとし、さらに利益を大きくできるならば、それを P^{12} 優先順位で行うことを示す（以降、ウェイトの値、差異変数及び絶対順位係数の説明は省略する）。

(2) 金利変動リスクに関する目標

金利変動リスク指標として、金利ギャップに「組み合わせの悪さの度合を示す係数」を組み入れた指標[4] $KH_{k,t}(\mathbf{x}_k)$ を用いると、金利変動リスクに関する目標制約式は(6)式のようになる。

$$KH_{k,t}(\mathbf{x}_k) + \lambda_{2,k,t} \cdot (d_{2,k,t}^- - d_{2,k,t}^+) = S_{2,k,t}, \quad (k = 0, \dots, T_k, \quad t = 1, \dots, T_t) \quad (6)$$

ただし、金利変動リスクは利益とは逆に小さい方が望ましいので、満足レベルは $S_{2,k,t}$ 、必要レベルは $(S_{2,k,t} + \lambda_{2,k,t})$ と設定する。そして、目的関数は(7)式で書くことができる。

$$\min \quad P^{21} \cdot \left(\sum_{k=0}^{T_k} \sum_{t=1}^{T_t} w_{2,k,t}^+ \cdot d_{2,k,t}^+ \right) - P^{22} \cdot \left(\sum_{k=0}^{T_k} \sum_{t=1}^{T_t} w_{2,k,t}^- \cdot d_{2,k,t}^- \right), \quad P^{21} \gg P^{22} \quad (7)$$

金利変動リスクも利益と同様に、 P^{21} 優先順位で満足レベルまで、それ以上は P^{22} 優先順位で金利変動リスクを小さくすることを示す。

(3) 戦略的金利変動リスク管理に関する目標

もし金利が上昇すると予想できるならば、金利ギャップ $G_{j,k,t}(\mathbf{x}_k)$ は正の値を持つ方が金利変動により利益を増やすことができる。金利が下降する場合には逆のことが言える。このように、金利ギャップを戦略的にとることにより、利益の増加を目標とする場合には(8)式で示す目標制約式を設定する。

$$G_{j,k,t}(\mathbf{x}_k) + \lambda_{3,j,k,t} \cdot (d_{3,j,k,t}^- - d_{3,j,k,t}^+) = S_{3,j,k,t}, \quad (j = 1, \dots, n, \quad k = 0, \dots, T_k, \quad t = 1, \dots, T_t) \quad (8)$$

この目標制約式に対応する目的関数は(9)式で示すことができる。

$$\min P^{11} \cdot \left\{ \sum_{j=1}^n \sum_{k=0}^{T_k} \sum_{t=1}^{T_t} (\alpha_{j,k,t} \cdot w_{3,j,k,t}^- \cdot d_{3,j,k,t}^- + \beta_{j,k,t} \cdot w_{3,j,k,t}^+ \cdot d_{3,j,k,t}^+) \right\} \quad (9)$$

ここで用いる $\alpha_{j,k,t}$ と $\beta_{j,k,t}$ 設定値は、金利の変動をどのように考えるかによって、表1のような設定を行う。

表1 戦略的リスク管理の考え方による $\alpha_{j,k,t}$ と $\beta_{j,k,t}$ の設定値

	$\alpha_{j,k,t}$	$\beta_{j,k,t}$
金利ギャップ>0 (金利上昇と予想)	1	0
金利ギャップ<0 (金利下降と予想)	0	1
金利ギャップ=0 (金利変動が不明)	1	1
考えない	0	0

3.3. 銀行に課された制約条件の設定

銀行の経営活動には様々な制約が考えられるが、ここでは主要と思われる流動性リスク、自己資本比率、預金準備率の3種類に絞ることにする。この中で、流動性リスクと自己資本比率の制約式は確率制約式とする。その取り扱い方については以下で議論する。

(1) 流動性リスクに関する制約

流動性リスク指標として、流動性不足の際に手当てできる資金量 $MF_{k,t}(x_k)$ に対する累積ギャップ $CG_{k,t}(x_k)$ の比率にマイナスを付した指標[5]を用いると、 k 期における t 期以内の流動性リスク指標 $LG_{k,t}(x_k)$ は、(10)式で表すことができる。

$$LG_{k,t}(x_k) = -\frac{CG_{k,t}(x_k)}{MF_{k,t}(x_k)}, \quad (k=0, \dots, T_k, t=1, \dots, T_t) \quad (10)$$

(10)式で求められる流動性リスクは、制約値 $JL_{1,k,t}$ よりも小さくしなければならないので、流動性リスク制約式は(11)式になる。

$$LG_{k,t}(x_k) \leq JL_{1,k,t}, \quad (k=0, \dots, T_k, t=1, \dots, T_t) \quad (11)$$

ところで、時にはデフォルトで入ってこない資金 $\widetilde{IN}_{k,t}^V$ や、突然出ていく資金 $\widetilde{OT}_{k,t}^V$ なども考えられる。最悪な状況も考えれば、(11)式に加えて、それらが生じた場合のために

流動性リスクの制約条件をきつくする（上限値を下げる）必要がある．もし確定的に分かるならば，それに見合う額だけ制約値の上限を低く設定すれば良いが，通常は分からないので，ここでは確率的に変動するものと考え． $\widetilde{IN}_{k,t}^V$ と $\widetilde{OT}_{k,t}^V$ を確率変数と考え，それらを考慮するために制約条件をきつくすることを考えた場合，(10)式を(11)式に代入すると，流動性リスクに関する制約式は(12)式のように書き直すことができる．

$$-CG_{k,t}(\mathbf{x}_k) \leq JI_{1,k,t} \cdot MF_{k,t}(\mathbf{x}_k) - (\widetilde{IN}_{k,t}^V + \widetilde{OT}_{k,t}^V), \quad (k = 0, \dots, T_k, t = 1, \dots, T_t) \quad (12)$$

この(12)式を確率制約式に書き直すと，次の(13)式で表すことができる．

$$CG_{k,t}(\mathbf{x}_k) + JI_{1,k,t} \cdot MF_{k,t}(\mathbf{x}_k) - y_{1,k,t}^+ + y_{1,k,t}^- = \widetilde{IN}_{k,t}^V + \widetilde{OT}_{k,t}^V, \quad (k = 0, \dots, T_k, t = 1, \dots, T_t) \quad (13)$$

ここで， $y_{1,k,t}^+$, $y_{1,k,t}^-$ はリコース変数である． $y_{1,k,t}^+$ は値を持っても流動性に問題は生じないので，ペナルティコストはかからない．しかし， $y_{1,k,t}^-$ が値を持った場合，流動性不足になるので，制約を守るための調達資金に要する資金コストの割高がペナルティとしてかかる．この(13)式の確率制約式では右辺の $\widetilde{IN}_{k,t}^V$ と $\widetilde{OT}_{k,t}^V$ が確率変数となり， $(\widetilde{IN}_{k,t}^V + \widetilde{OT}_{k,t}^V)$ に確率分布を想定することになる．

ところで，流動性リスク制約を確率制約式で取り扱う場合，累積ギャップ（決定変数の集まり） $CG_{k,t}(\mathbf{x}_k)$ と確率変数 $(\widetilde{IN}_{k,t}^V + \widetilde{OT}_{k,t}^V)$ は独立でなければならない．そのため， $CG_{k,t}(\mathbf{x}_k)$ から $\widetilde{IN}_{k,t}^V$ と $\widetilde{OT}_{k,t}^V$ を引いてから流動性リスク指標を $JI_{1,k,t}$ 以上にするという定式化ではなく， $CG_{k,t}(\mathbf{x}_k)$ が $\widetilde{IN}_{k,t}^V$ と $\widetilde{OT}_{k,t}^V$ を考慮した上限値以下でなければならない，という定式化を行う（ただし，式の形としては同じになる）．

(2) 自己資本比率に関する制約

国際的に活動を行う銀行は国際決済銀行(BIS)によって決められた自己資本比率に関する制約を守らなければならない．このBIS基準に用いられる自己資本比率（リスクアセットレシオ） $CR_k(\mathbf{x}_k)$ は，自己資本額 $NP_k(\mathbf{x}_k)$ をリスクアセット額 $RA_k(\mathbf{x}_k)$ で割った(14)式で表される．

$$CR_k(\mathbf{x}_k) = \frac{NP_k(\mathbf{x}_k)}{RA_k(\mathbf{x}_k)}, \quad (k = 0, \dots, T_k) \quad (14)$$

(14)式で求められる自己資本比率は，(15)式で示すようにBIS基準値（8%）または銀行が政策的に定めた値 $JI_{2,k}$ 以上でなければならない．

$$CR_k(x_k) \geq JI_{2,k}, (k = 0, \dots, T_k) \quad (15)$$

ところで、BIS基準で算入できる自己資本額 $NP_k(x_k)$ は(16)式で示すように株式払込資本金や公表準備金の基本項目 $NP_k^C(x_k)$ と補完項目として算入が認められている株式の含み益(の45%) $\widetilde{NP}_k^{U1}$ や劣後債その他の NP_k^{U2} から構成される。

$$NP_k(x_k) = NP_k^C(x_k) + \widetilde{NP}_k^{U1} + NP_k^{U2}, (k = 0, \dots, T_k) \quad (16)$$

確定モデルでは、これらすべてを確定的なものとして取り扱ったが、株式の含み益は株式市場の影響を受けて変動する不確実なものである。従って、株式の含み益の不確実性を考慮に入れ、(16)式を(14)式、そして(15)式に代入すると自己資本比率に関する確率制約式は(17)式のように示すことができる。

ただし、 $k = 0$ の時点では株式の含み益は確定しているので、確率制約式は $k = 1, \dots, T_k$ のみである。 $k = 0$ の場合は、(15)式が適用される。

$$JI_{2,k} \cdot RA_k(x_k) - (NP_k^C(x_k) + NP_k^{U2}) + y_{2,k}^+ - y_{2,k}^- = \widetilde{NP}_k^{U1}, (k = 1, \dots, T_k) \quad (17)$$

ここで、 $y_{2,k}^+, y_{2,k}^-$ はリコース変数であるが、 $y_{2,k}^+$ は値を持っても自己資本比率が制約の下限比率を下回らないので、ペナルティコストはかからない。しかし、 $y_{2,k}^-$ が値を持った場合は、制約の下限比率を下回っており、不足している自己資本を増やすのに必要なコスト分または国際業務が制限されることによって生じる損失をペナルティとしてかける。この(17)式の確率制約式では株式の含み益(の45%) $\widetilde{NP}_k^{U1}$ に確率分布を想定する。

また、BIS基準では自己資本の補完的項目の額は基本項目の額を越えて算入できないので、基本項目の額はリスクアセット額のうち、BIS基準比率の半分(4%)または、銀行が政策的に定めた値 $JI'_{2,k}$ 以上は持たなければならない。この制約式は、(18)式で表すことができる。

$$\frac{NP_k^C(x_k)}{RA_k(x_k)} \geq JI'_{2,k} (k = 0, \dots, T_k) \quad (18)$$

(3) 預金準備率に関する制約

k 期における現金の合計額を $CS_k(x_k)$ 、預金の合計額を $DP_k(x_k)$ とすると、預金準備率 $DR_k(x_k)$ は(19)式で示すことができる。

$$DR_k(\mathbf{x}_k) = \frac{CS_k(\mathbf{x}_k)}{DP_k(\mathbf{x}_k)}, \quad (k = 0, \dots, T_k) \quad (19)$$

預金準備率は、制約値 $JI_{3,k}$ よりも大きくなければならないので、それを示す制約式は(20)式になる。

$$DR_k(\mathbf{x}_k) \geq JI_{3,k}, \quad (k = 0, \dots, T_k) \quad (20)$$

3.4. 市場の環境制約条件

市場の環境条件として、調達や運用が可能な範囲を上下限額制約として設定する。上限額を表す制約式を(21)式、残存額の下限を表す制約式を(22)式として表すことにする。ただし、各々 JU_{i,k,u_i}^{sb} , JL_{i,k,u_i}^{sb} を上限額、下限額とする。

$$\mathbf{x}_{i,k,u_i}^{sb} \leq JU_{i,k,u_i}^{sb} \quad (21)$$

$$\sum_{v=1}^{u_i} B_{i,k,v}^{sb}(\mathbf{x}_k) \geq JL_{i,k,u_i}^{sb} \quad (22)$$

$$(i = 1, \dots, m, \quad k = 0, \dots, T_k, \quad sb \in \{AN, LN, AF, LF\})$$

ここで、 $B_{i,k,v}^{sb}(\mathbf{x}_k)$ は、 k 期において v 期後に満期がくる sb の i 勘定科目のポジションを表す（添字ルールは決定変数と同じ）。

ところで、下限制約式は銀行が政策上残したいと考える制約式なので確定制約式のままで良いが、調達や運用が可能な上限額は市場の変化によって変わる不確実なものと考えることができる。従って、上限制約式に不確実性を考慮すると(21)式は(23)式になる。

ただし、(17)式と同様に、確率制約式は $k = 1, \dots, T_k$ のみである。 $k = 0$ の場合は(21)式を用いる。

$$\mathbf{x}_{i,k,u_i}^{sb} + y_{3,i,k,u_i}^{sb+} - y_{3,i,k,u_i}^{sb-} = \widetilde{JS}_{i,k,u_i}^{sb} \quad (23)$$

$$(i = 1, \dots, m, \quad k = 1, \dots, T_k, \quad sb \in \{AN, LN, AF, LF\})$$

ここで、 y_{3,i,k,u_i}^{sb+} , y_{3,i,k,u_i}^{sb-} はリコース変数であるが、 y_{3,i,k,u_i}^{sb+} は値を持って調達や運用

をしたい額が上限を上回らないので、ペナルティコストはかからない。しかし、 y_{3,i,k,u_i}^{sb-} が値を持った場合は、上限額を上回るので、調達または運用不足に対して、必要なコストの割高分をペナルティとしてかける。この(23)式の確率制約式では調達や運用が可能な上限値 $\widetilde{JS}_{i,k,u_i}^{sb}$ に確率分布を想定する。

3.5. 目的関数の設定

定式化上は目標制約式と確率制約式とを一緒に取り扱ったとしても特に問題はない。しかし、各々の目標制約式における差異変数と確率制約式におけるリコース変数とを両方ともに目的関数で取り扱った場合の一般的な解法は存在しない。従って、それらの変数をどのように考えて取り扱うかによって、目的関数の形は様々なものが考えられる。本研究では一般的な方法論の議論は避け、本モデルに適用が可能な取り扱いとして、次の2種類の方法を提案する。

(1) リコースの基準化・絶対順位付け (基準化モデル)

(2) ペナルティコストの利益換算 (利益換算モデル)

3.5.1. リコースの基準化・絶対順位付け

目標計画法の差異変数が目標に対する不達成度であるのに対し、リコース変数は制約に対する不成立度と考えることができることから、リコース変数を差異変数と同様の取り扱い方をする方法を示す。すなわち、一般的に目標制約式を(24)式、確率制約式を(25)式とすると、目的関数は(26)式のように考えることができる。

$$g_i(\mathbf{x}) + \lambda_i (d_i^- - d_i^+) = S_i \quad (24)$$

$$h_i(\mathbf{x}) + r_i (y_i^+ - y_i^-) = \tilde{b}_i \quad (25)$$

$$\min \sum_{l=1}^{L_d} P_l^d \left[\sum_{i \in D_l} (w_i^- d_i^- + w_i^+ d_i^+) \right] + \sum_{l=1}^{L_y} P_l^y \cdot E \left[\min_{y_i^+ y_i^- \in Y_l} \sum (p_i y_i^+ + q_i y_i^-) \right] \quad (26)$$

ただし、(25)式における y_i^+, y_i^- はリコース変数、 r_i はリコースの基準化パラメータ $\tilde{b}_i$ は確率変数、また(24)式における d_i^-, d_i^+ は差異変数、 λ_i は(基準化に用いられる)満足レベルと必要レベルの差、 S_i は満足レベルとする。そして、(26)式における w_i^+, w_i^- は目標のウェイト値、 p_i, q_i はペナルティコスト係数、 P_l^d, P_l^y はプライオリティ係数(絶対順位係数)、 L_d, L_y は設定するプライオリティの数、 D_l, Y_l は同一順位内における目標制約及び確率制約の集合を表す。

この基準化モデルではペナルティコスト係数を目標のウェイト値と同様に取り扱うことになるので、ペナルティというよりも制約に対するウェイト値と考える方が分かりやすいだろう。

次に、利益とリスク目標を達成させ、その後に戦略的に金利ギャップを取ることを考えるために目標の優先順位を(27)式のように設定する。そして、確率制約式のペナルティをなるべく負わないように利益やリスク目標と同じく確率制約式の優先順位をすべて第1優先順位にすると、全体として目的関数は(28)式のように示すことができる。

$$\begin{aligned} P^{11} = P^{21} (= P_1 : \text{第1優先順位}) &\gg P^3 (= P_2 : \text{第2優先順位}) \\ &\gg P^{12} = P^{22} (= P_3 : \text{第3優先順位}) \end{aligned} \quad (27)$$

$$\begin{aligned} \min \quad & P_1 \cdot \left\{ \sum_{k=0}^{T_k} w_{1,k}^- \cdot d_{1,k}^- + \sum_{k=0}^{T_k} \sum_{t=1}^{T_t} w_{2,k,t}^+ \cdot d_{2,k,t}^+ \right. \\ & + E \left[\min_{\mathbf{y}} \left(\sum_{k=0}^{T_k} \sum_{t=1}^{T_t} q_{1,k,t} \cdot y_{1,k,t}^- + \sum_{k=0}^{T_k} q_{2,k} \cdot y_{2,k}^- + \sum_{k=0}^{T_k} \sum_{sb} \sum_{i=1}^m q_{3,i,k,u_i}^{sb} \cdot y_{3,i,k,u_i}^{sb-} \right) \right] \Big\} \\ & + P_2 \cdot \left\{ \sum_{j=1}^n \sum_{k=0}^{T_k} \sum_{t=1}^{T_t} (\alpha_{j,k,t} \cdot w_{3,k,t}^- \cdot d_{3,k,t}^- + \beta_{j,k,t} \cdot w_{3,k,t}^+ \cdot d_{3,k,t}^+) \right\} \\ & - P_3 \cdot \left\{ \sum_{k=0}^{T_k} w_{1,k}^+ \cdot d_{1,k}^+ + \sum_{k=0}^{T_k} \sum_{t=1}^{T_t} w_{2,k,t}^- \cdot d_{2,k,t}^- \right\} \end{aligned} \quad (28)$$

また、(13)式、(17)式、そして(23)式の確率制約式も(29)～(31)式に書き換えられる。

$$CG_{k,t}(\mathbf{x}_k) + JI_{1,k,t} \cdot MF_{k,t}(\mathbf{x}_k) - r_{1,k,t} \cdot (y_{1,k,t}^+ - y_{1,k,t}^-) = \widetilde{IN}_{k,t}^V + \widetilde{OT}_{k,t}^V \quad (29)$$

$$(k = 0, \dots, T_k, t = 1, \dots, T_t)$$

$$JI_{2,k} \cdot RA_k(\mathbf{x}_k) - (NP_k^C(\mathbf{x}_k) + NP_k^{U2}) + r_{2,k} \cdot (y_{2,k}^+ - y_{2,k}^-) = \widetilde{NP}_k^{U1}, \quad (k = 1, \dots, T_k) \quad (30)$$

$$x_{i,k,u_i}^{sb} + r_{3,k,u_i} \cdot (y_{3,i,k,u_i}^{sb+} - y_{3,i,k,u_i}^{sb-}) = \widetilde{JS}_{i,k,u_i}^{sb} \quad (31)$$

$$(i = 1, \dots, m, k = 1, \dots, T_k, sb \in \{AN, LN, AF, LF\})$$

ところで、リコースの基準化パラメータ γ_i は様々な設定方法が考えられる。確率分布が

有限で、しかも本モデルの確率制約式のようにすべての p_i が0ならば、2.2.1節の(1),(2)式から分かるように、 i 番目の確率制約式が守られなかった場合にかかるペナルティ部分 Q_i は次の(32)式のように計算することができる。ただし、(25)式に合わせるために、(1)式の $\sum_{j=1}^{ns} a_{i,j} x_j$ を $h_i(x)$ と置き換えて示す。また、 Q_i は $h_i(x)$ の関数として示す。

$$\begin{aligned} Q_i(h_i(x)) &= q_i \cdot y_i^- = q_i \cdot \left\{ h_i(x) F_i(h_i(x)) - \int_{-\infty}^{h_i(x)} \tilde{b}_i dF_i(\tilde{b}_i) \right\} \\ &= q_i \cdot \left(\int_{r_{i,1}}^{h_i(x)} F_i(\tilde{b}_i) d\tilde{b}_i \right) \end{aligned} \quad (32)$$

そして、基準化パラメータ γ_i を(33)式で求めることにする。

$$\gamma_i \equiv Q_i(r_{i,l}) = \int_{r_{i,1}}^{r_{i,l}} F_i(\tilde{b}_i) d\tilde{b}_i \quad (33)$$

ただし、 $r_{i,1} = \min \{h_i(x) | F_i(h_i(x)) > 0\}$, $r_{i,l} = \min \{h_i(x) | F_i(h_i(x)) = 1\}$ 。また、 $F_i(\cdot)$ は累積分布関数を表す。

なお、このように設定するのは次のような理由からである。(24)式及び図2から分かるように、金利変動リスク目標制約式に対するリグレット関数は、 $g_i(x)$ が必要レベルならば目標の不達成度(リグレット値)が1、満足レベル以下ならば目標の不達成度が0となるように、基準化のパラメータを満足レベルと必要レベルの差で設定する。一方、(25)式及

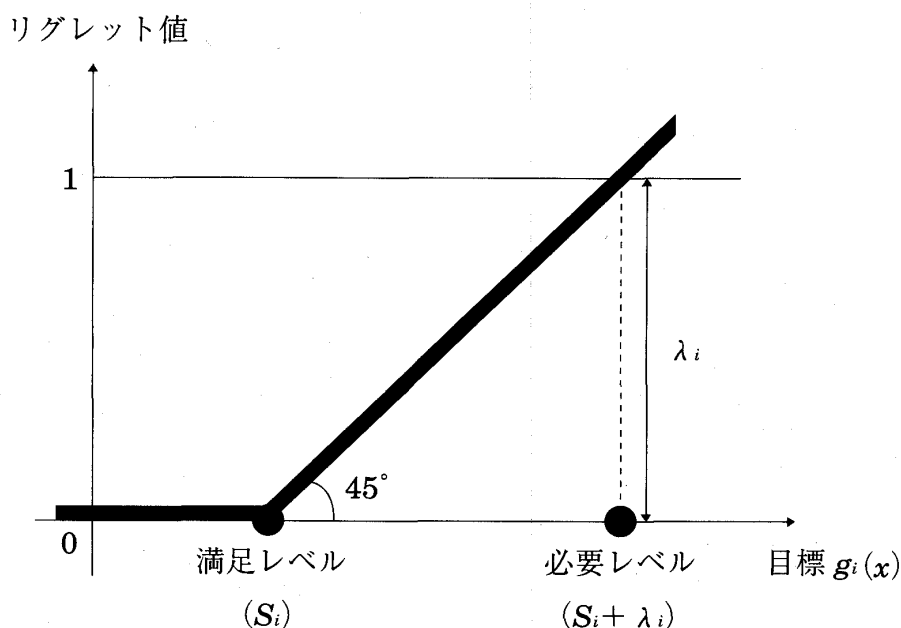


図2 目標制約式のリグレットの基準化(金利変動リスク目標の場合)

び図3の確率制約式に対応するペナルティコスト関数からも分かるように $h_i(\mathbf{x})$ が $r_{i,1}$ 以下ならばペナルティコストはかからないので確率制約式の不成立度を0, 逆に $r_{i,l}$ ならば確率1でペナルティコストがかかるので確率制約式の不成立度を1と考えることができる. そこで, リコースの基準化パラメータを(33)式で求められる γ_i で設定する.

ペナルティコスト値

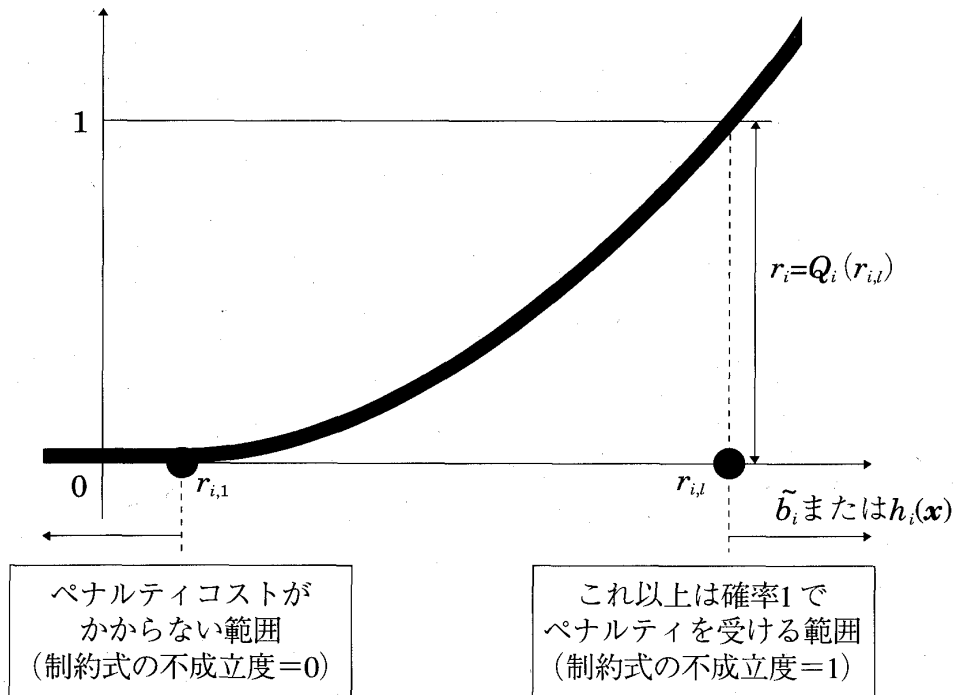


図3 確率制約式のペナルティコスト関数の基準化

3.5.2. ペナルティコストの利益換算

単純リコース型の確率計画法の目的関数は, 通常のコスト関数とペナルティコスト関数の和を最小化 (もしくは, 利益からペナルティコスト関数を引いた値を最大化) するものとして定式化される. 従って, この考え方をそのまま利用して, ここでは利益からペナルティコストを引いたものをペナルティコスト換算済み利益 $RT_k^D(\mathbf{x}_k)$ と定義して, それを目標として取り扱う方法を示す.

ペナルティコスト換算済み利益 $RT_k^D(\mathbf{x}_k)$ は前述の定義から(34)式で示すことができる.

$$RT_k^D(\mathbf{x}_k) = \begin{cases} RT_0(\mathbf{x}_k) - E \left[\min_{\mathbf{y}} \sum_{t=1}^{T_t} q_{1,0,t} \cdot y_{1,0,t}^- \right] & , \text{ for } k = 0 \\ RT_k(\mathbf{x}_k) - E \left[\min_{\mathbf{y}} \left(\sum_{t=1}^{T_t} q_{1,k,t} \cdot y_{1,k,t}^- + q_{2,k} \cdot y_{2,k}^- \right. \right. \\ \left. \left. + \sum_{s=1}^m \sum_{i=1}^{q_{3,i,k,u_i}^{sb}} q_{3,i,k,u_i}^{sb} \cdot y_{3,i,k,u_i}^{sb-} \right) \right] & , \text{ for } k = 1, \dots, T_k \end{cases} \quad (34)$$

従って、(4)式の利益目標制約式を(35)式のように書き換える。

$$RT_k^D(\mathbf{x}_k) + \lambda_{1,k}^D \cdot (d_{1,k}^{D-} - d_{1,k}^{D+}) = S_{1,k}^D, \quad (k = 0, \dots, T_k) \quad (35)$$

この場合の目的関数は(27)式の優先順位を用いると、(36)式で表される。

$$\begin{aligned} \min \quad & P_1 \cdot \left\{ \sum_{k=0}^{T_k} w_{1,k}^{D-} \cdot d_{1,k}^{D-} + \sum_{k=0}^{T_k} \sum_{t=1}^{T_t} w_{2,k,t}^{D+} \cdot d_{2,k,t}^{D+} \right. \\ & + P_2 \cdot \left\{ \sum_{j=1}^n \sum_{k=0}^{T_k} \sum_{t=1}^{T_t} (\alpha_{j,k,t} \cdot w_{3,j,k,t}^{D-} \cdot d_{3,j,k,t}^{D-} + \beta_{j,k,t} \cdot w_{3,j,k,t}^{D+} \cdot d_{3,j,k,t}^{D+}) \right\} \\ & \left. - P_3 \cdot \left\{ \sum_{k=0}^{T_k} w_{1,k}^{D+} \cdot d_{1,k}^{D+} + \sum_{k=0}^{T_k} \sum_{t=1}^{T_t} w_{2,k,t}^{D-} \cdot d_{2,k,t}^{D-} \right\} \right\} \quad (36) \end{aligned}$$

4. おわりに

本研究では、パラメータの一部をある確率分布に従う確率変数として取り扱うことによって不確実性を考慮した銀行のリスク管理のための多目標単純リコース確率計画ALMモデルを提案した。このモデルは目標制約式と確率制約式を両方含むために従来の方法論では問題を解くことができない。そこで、3.5節でも議論したように、基準化モデルでは確率制約式のペナルティが片側のみにしかかからないことを利用した解法を、また利益換算モデルではモデルの中に「利益」という指標が存在することを利用した解法を提案した。提案したモデルは多目標を取り扱うことができ、しかもリスクと利益のトレードオフの関係をうまく表現でき、さらに自己資本比率規制の問題も確率制約式の中に含むモデルとなっているので、本モデルは銀行がリスクと利益の両方を配慮して経営を行っていくのに役立つものと考えられる。

しかしながら、本モデルで取り入れている不確実性は、2.2.2節のB-2で議論したように、確率変数として取り扱えるパラメータが一部に限定されている。実際にこのモデルがより役に立つには不確実性をさらに一般的に考慮したモデルが必要であろう。これにはパラメータにシナリオを与えることが考えられる。

最後に本モデルの実際の銀行への適用性については、いくつかの銀行の実務家の人々に対するヒアリングを通して以下のように考える。本モデルは銀行におけるALMモデルのプロトタイプであるので、実際に運用する場合には個々の銀行に固有の目標や制約、さらに商品区分に合わせた修正が必要であろう。しかしながら、基本的なモデルの構造は変わ

らないので、モデルの規模は拡大するとしても十分に対応できるものと考えられる。また、取り扱うパラメータ、特に本研究で取り扱った確率変数に関しても銀行のアナリストやALM委員会などによって過去の経験やデータなどから設定することができよう。もちろん、ここで提案したモデルアプローチはこのモデルを使えばALMができるというものではない。ALMを有効に機能させようと考えている銀行にとって、そのために役立つひとつの方法である。ただし、そのためにはパラメータを設定するのに必要なデータを勘定系及び情報系のシステムから適時適切に抽出し、パラメータ値に加工し、利用できるようにする情報システムの設計も必要となろう。

なお、本研究の一部は平成4年度文部省科学研究費（一般研究C）の補助を受けた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- [1] G.G.Booth, W.Bessler : "Goal Programming Models for Managing Interest-Rate Risk" OMEGA, Vol.17, No.1, pp.81 - 89, 1989.
- [2] 伏見多美雄, 福川忠昭, 山口俊和 : 『経営の多目標計画』, 森北出版, 1987.
- [3] D.Giokas, M.Vassiloglou : "A goal programming model for bank assets and liabilities management", *European Journal of Operational Research*, Vol.50, pp.48 - 60, 1991.
- [4] 枇々木規雄, 福川忠昭 : 「ALM(資産負債管理) による銀行の金利変動リスクの管理」, 慶應経営論集, Vol.9, No.1, pp.1 - 15, 1991.
- [5] 枇々木規雄, 福川忠昭 : 「ALM(資産負債管理) の考え方に基づく銀行のリスク管理へのモデル・アプローチ」, *Journal of the Operations Research Society of Japan*, Vol.35, No.4, pp.319 - 343, 1992.
- [6] 枇々木規雄, 福川忠昭 : 「多期間ALMモデルによる銀行のリスク管理」, 管理会計学, Vol.2, No.1, pp.3 - 22, 1993.
- [7] 枇々木規雄, 福川忠昭 : 「多期間ALMモデルの数値実験による考察」, 管理会計学, Vol.2, No.1, pp.71 - 88, 1993.
- [8] 枇々木規雄, 福川忠昭 : 「目標計画法による通貨別（多通貨）ALMモデル」, 慶應義塾大学理工学部管理工学科テクニカル・レポート, No.93001, 1993.
- [9] 枇々木規雄, 福川忠昭 : 「通貨別（多通貨）ALMモデルによる銀行のリスク管理」, 日本経営工学会誌, 受理.
- [10] 枇々木規雄, 福川忠昭 : 「多目標単純リコース確率計画ALMモデルの数値実験による考察」, 管理会計学, Vol.2, No.2, 1994.
- [11] 石井博昭 : 「確率論的最適化」, 伊理正夫, 今野浩編, 『数理計画法の応用<理論編>』第一章, 産業図書, 1982, pp.1 - 40.
- [12] A.Korhonen : "A dynamic bank portfolio planning model with multiple scenarios, multiple goals and changing priorities", *European Journal of Operational Research*, Vol.30, pp.13 - 23, 1987.
- [13] M.I.Kusy, W.T.Ziemba : "A Bank Asset and Liability Management Model", *Operations Research*, Vol.34, No.3, pp.356 - 376, 1986.
- [14] D.Langen : "A Multi-objective Decision Model for Bank Asset/Liability Management", *Mathematical*

Computer Modelling, Vol.12, No.10/11, pp.1419 – 1435, 1989.

- [15] 日本ユニシス監修, Bill Williams, 静岡銀行 ALM 研究会訳, 上田悦久, 日本ユニシス金融マーケティング研究会:『実践的 ALM リスク測定法と ALM の導入から運用まで』, 近代セールス社, 1989.
- [16] G.K.Tayi, P.A.Leonard : “Bank Balance-Sheet Management : An Alternative Multi-objective Model”, *Journal of the Operational Research Society*, Vol.39, No.4, pp.401 – 410, 1988.
- [17] A.L.Toevs, W.C.Haney : “Measuring and Managing Interest Rate Risk : A Guide to Asset/Liability Models Used in Banks and Thrif”, Robert B.Platt (ed.), *Controlling Interest Rate Risk*, John Wiley & Sons, 1986, pp.256 – 350.
- [18] R.J-B. Wets : “Programming under Uncertainty : The Complete Problem”, *Zeit. Wahr. Verw. Geb.*, Vol.4, pp.316 – 339, 1966.
- [19] R.J-B. Wets : “Solving Stochastic Programs with Simple Recourse”, *Stochastics*, Vol.10, pp.219 – 242, 1983.

MULTI-GOAL STOCHASTIC ALM MODEL WITH SIMPLE RECOURSE FOR RISK MANAGEMENT ON BANKING

Norio Hibiki*, and Tadaaki Fukukawa†

ABSTRACT

The recent financial deregulation and internationalization have caused a great deal of financial risk to banking in Japan. Then financial risk management becomes very important, and banks need to manage not only profit, but also risk.

In this paper, the multi-goal and stochastic ALM model is proposed. It is the advanced model with both goal programming and stochastic programming with simple recourse, which is based on the idea of risk management(ALM). The features of this model are that the bank can make the plan both to manage assets and liabilities in the future and to achieve the goals, by using this model, and that it can show the trade-off relation between profit and risk, which are set as goals. In addition, the feature that three kinds of the stochastic constraints with simple recourse for liquidity risk, risk asset ratio, and market conditions are formulated with uncertainty, can be shown.

The method to solve this model is proposed, in which both goal constraints and stochastic constraints with simple recourse are simultaneously formulated. Then the usefulness of this model will be considered by representing the features and mathematical formulations.

KEYWORDS

Asset Liability Management, Banking, Risk Management, Goal Programming, Stochastic Programming with Simple Recourse, Trade-off

Submitted October 1993

Accepted December 1993

*Department of Administration Engineering, Faculty of Science and Technology, Keio University

†Department of Administration Engineering, Faculty of Science and Technology, Keio University