

年金資産運用と年金数理(2)

— 年金ALM —

目次

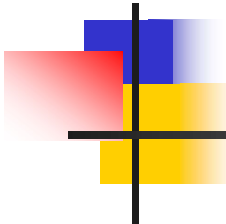
	頁
1. 年金ALMとは	1
2. シミュレーション型ALM	3
3. バランスシート型ALM	12

2019年11月

年金シニアプラン総合研究機構

杉田 健

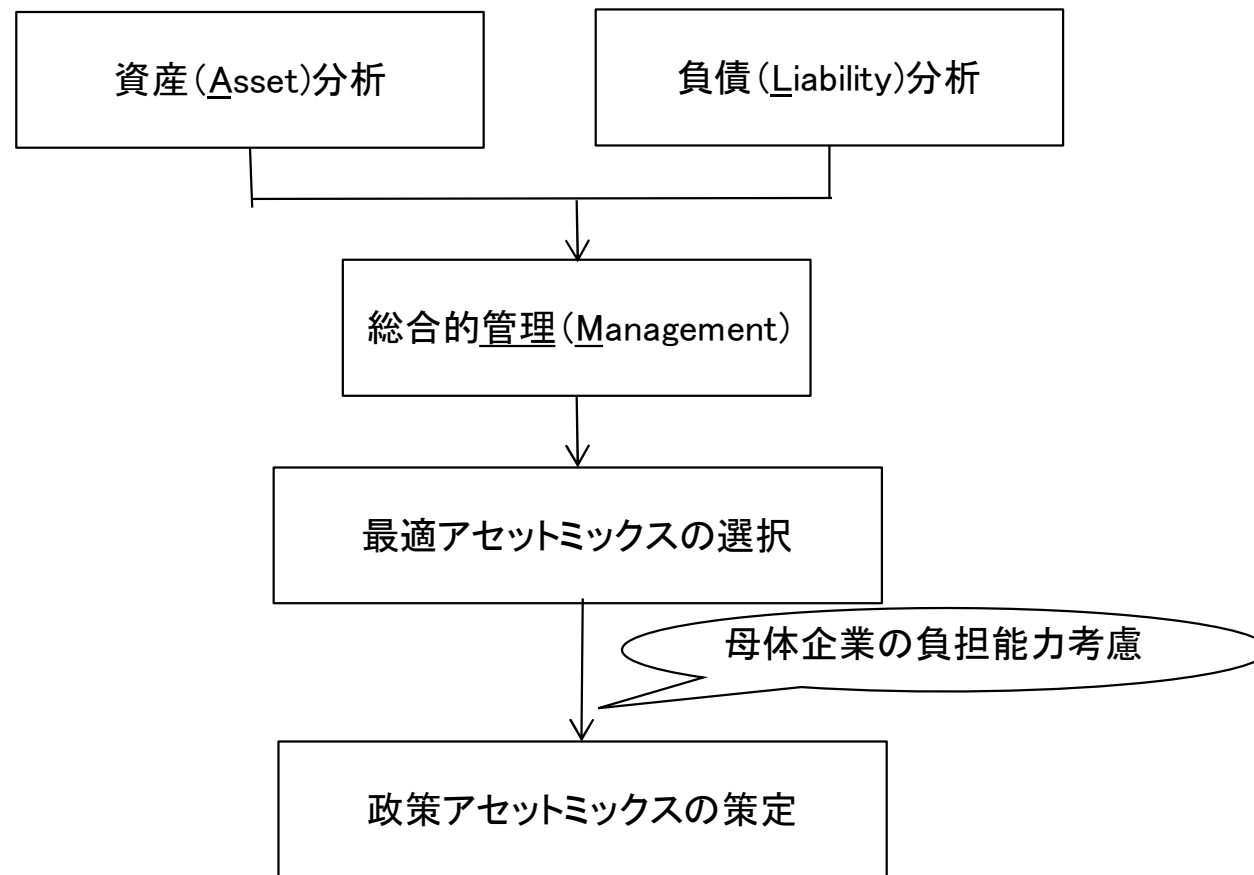
(年金数理人、日本アクチュアリー会正会員、
日本証券アナリスト協会検定会員)

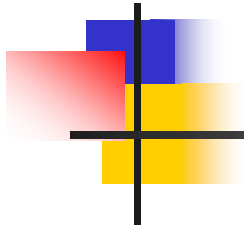


1. 年金ALM(Asset and Liability Management)とは

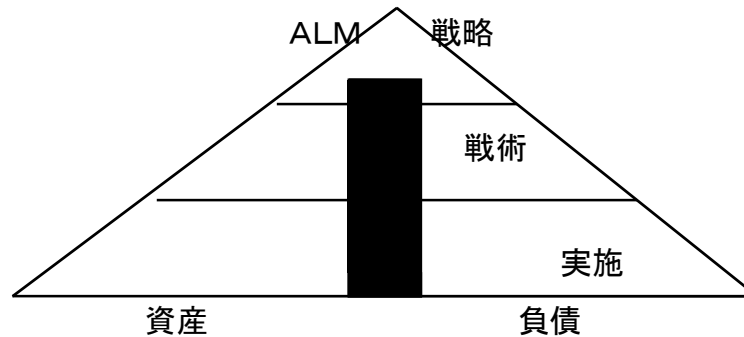
年金ALMとは、年金資産と年金負債の総合管理

年金基金の負債情報に基づき、基金のリスク許容度を勘案しつつ、
効率的な資産運用を図る。





◆ フレーム・ワーク



考慮点： 積立不足(ストック)への対応、費用(フロー)への対応

◆ 年金の財政計算との比較

給付額＝資産×予定利率＋掛金額

◆ 日本における年金ALM普及の背景

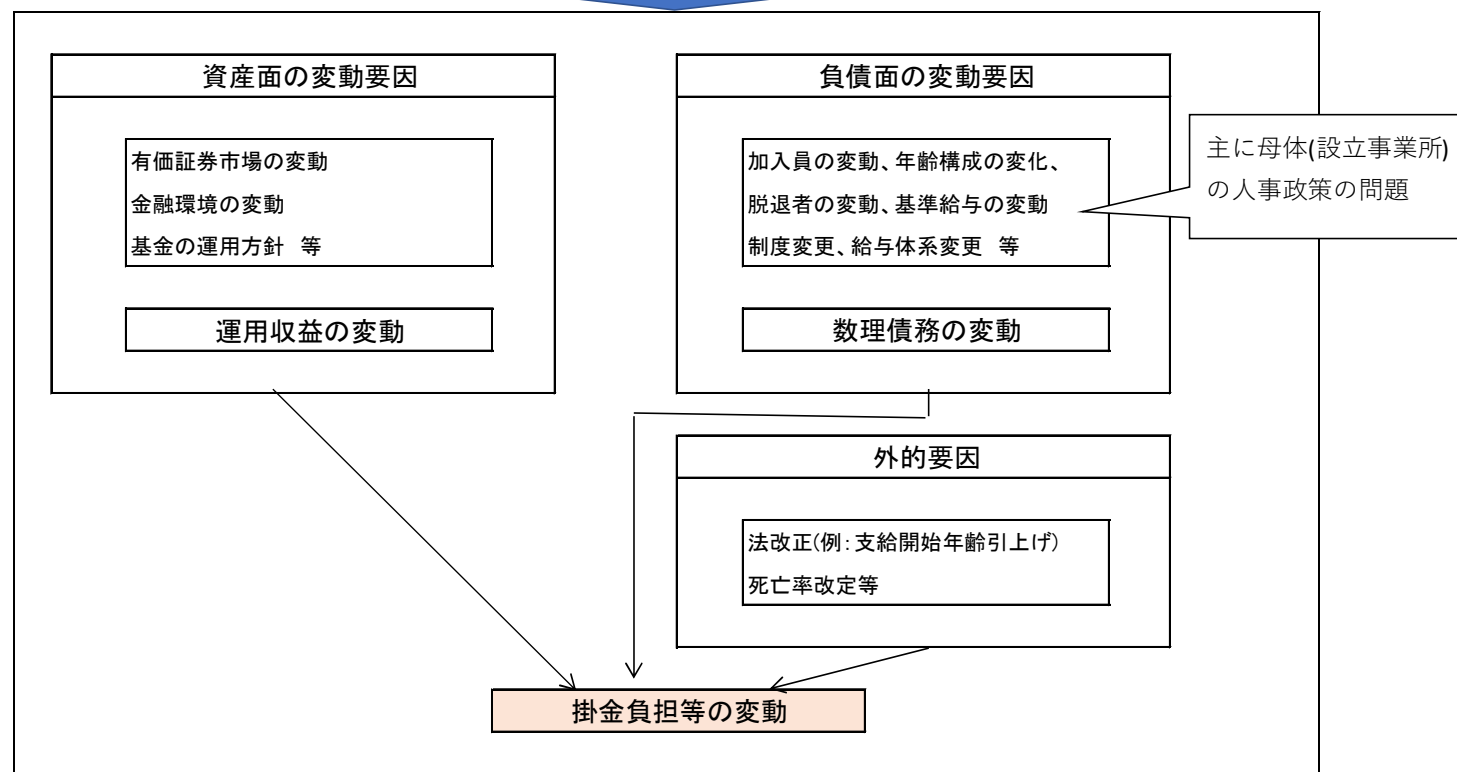
- ・Banking ALM
- ・5:3:3:2規制※撤廃の受け皿
- ・1993年12月厚生省通知(年金ALMに関するコンサルテーションの費用を厚生年金基金の年金経理から支出することが可能になった)
- ・予定利率と実際の運用収益の長期的乖離
- ・退職給付会計の導入により、年金財政が母体企業のバランスシートに影響を及ぼす

※債券・貸付金:50%以上、株式:30%以下、外貨建資産:30%以下、不動産:20%以下という運用規制
なお、無担保の社債および無担保の貸付金は50%以下

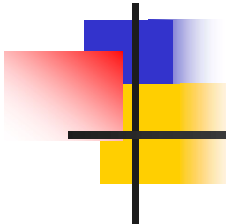
2. シミュレーション型ALM

主にモンテカルロ法によって生成された複数の金融シナリオのもとで、年金財政と資産運用を結合して、剰余金や掛金の将来推移予測を基に実施するALM。

入力データ: 現在の年金財政に関する情報、資産運用に関する前提、将来の人員推移や年金数理計算に関する情報



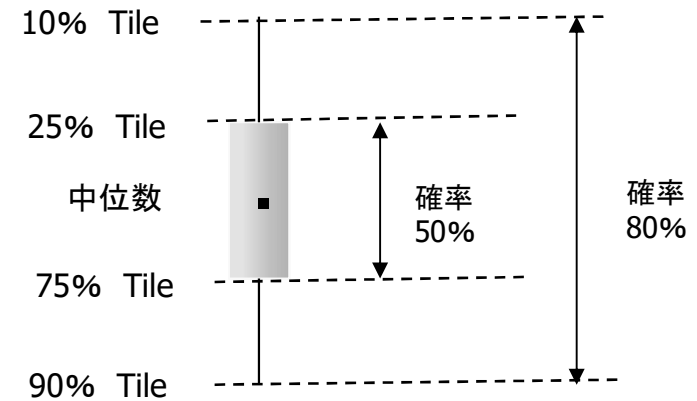
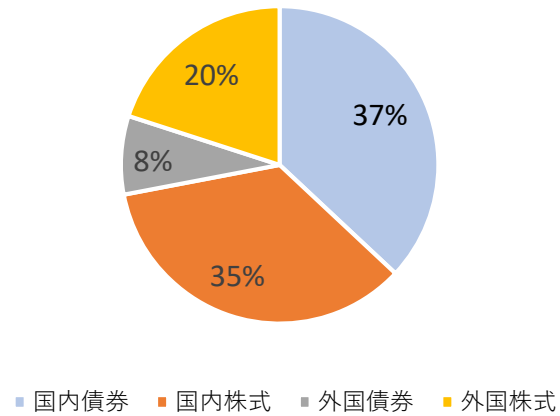
出力データ: 資産(Asset)、負債(Liability)に関する見通し、掛金等の将来の財政状態に関する情報



シミュレーションの流れ

- 負債分析(加入者、受給者等の推移)
- 資産の確率的シミュレーション(資産クラスごとのリターン・リスク・相関係数が前提)
 - 現行の資産構成
 - 効率的フロンティア上の各点ごとに実施
- 特別掛金について比較
- 現行の資産構成の変更を提案

現行の資産構成



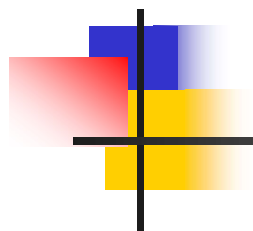
資産面の前提条件

リターンとリスク

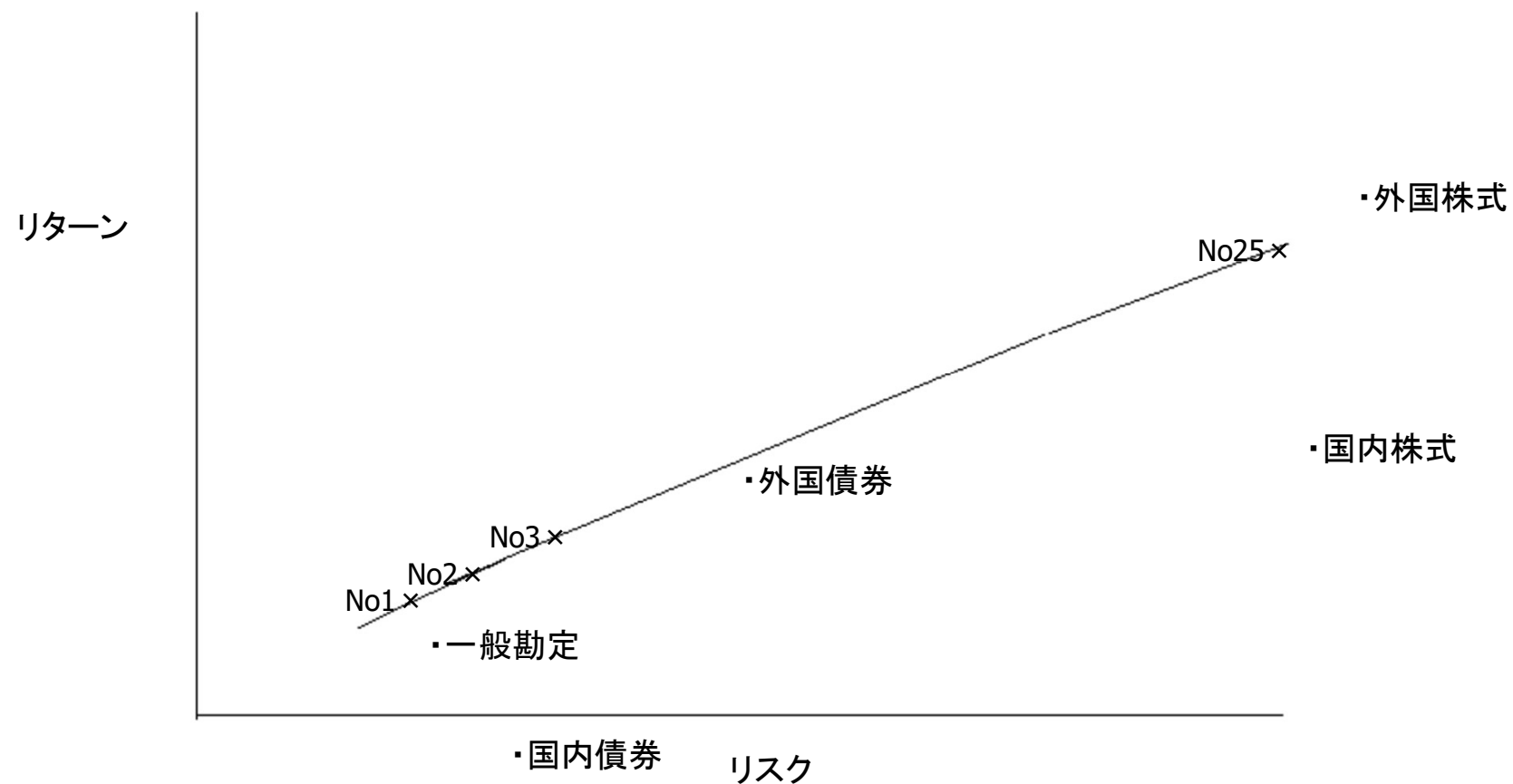
	国内債券	国内株式	外国債券	外国株式	短期資金	一般勘定
リターン(期待収益率)	-0.4%	2.7%	1.9%	5.9%	-0.8%	0.77%
リスク(標準偏差)	4.10%	24.86%	11.46%	25.70%	0.75%	0.50%

相関係数

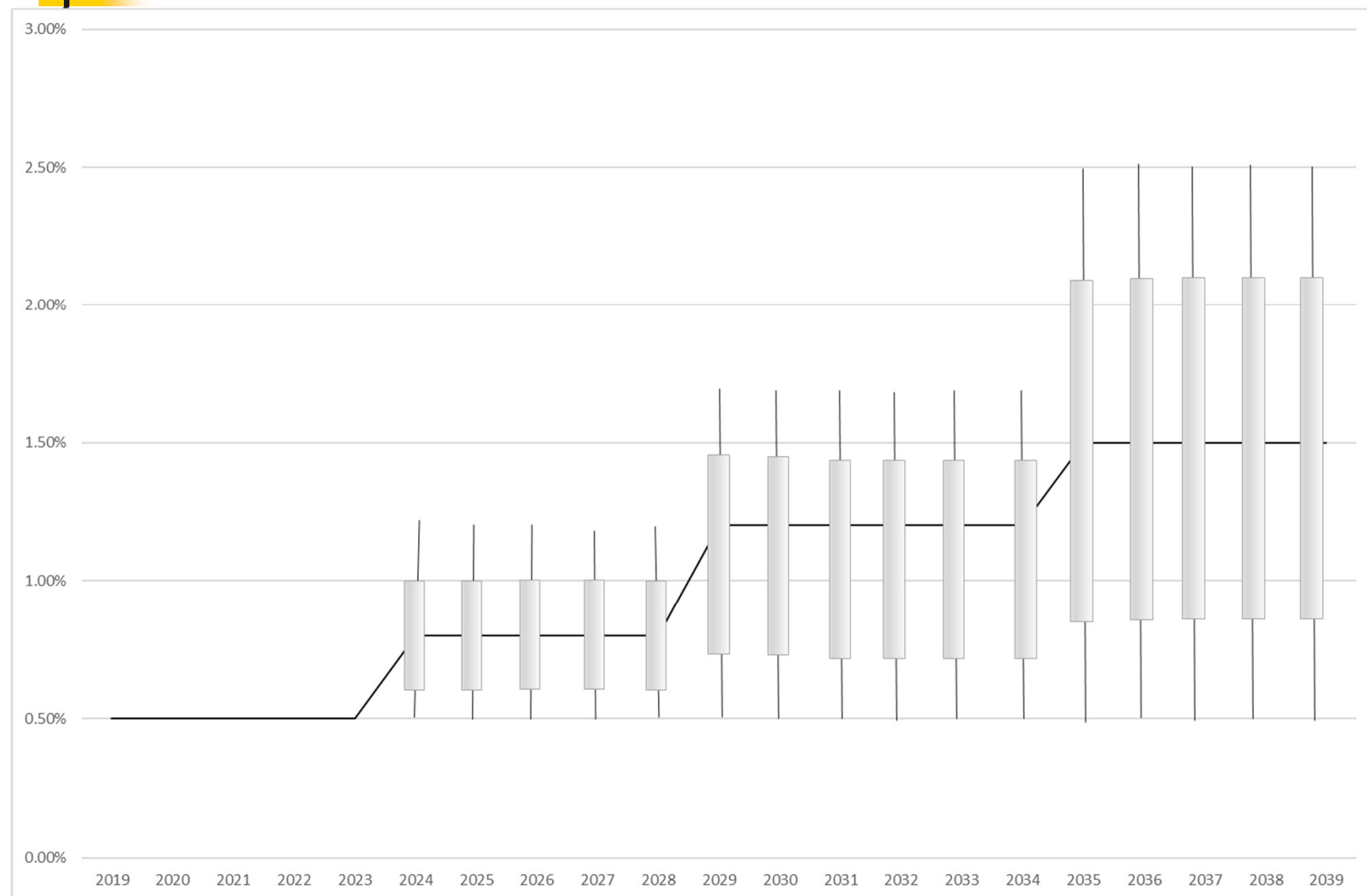
	国内債券	国内株式	外国債券	外国株式	短期資金
国内債券	1.00				
国内株式	-0.17	1.00			
外国債券	-0.26	0.12	1.00		
外国株式	-0.36	0.78	0.50	1.00	
短期資金	0.09	-0.03	-0.02	0.00	1.00



効率的フロンティア上の各点のリターン・リスクを基にシミュレーション

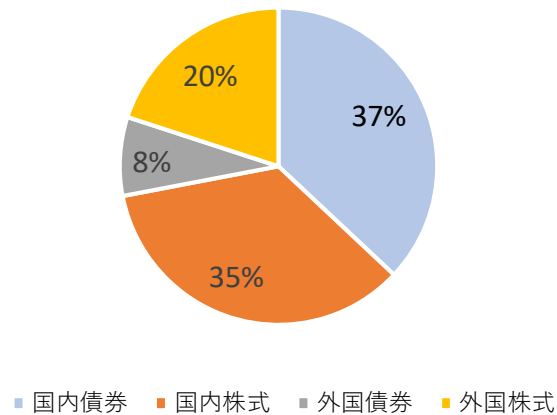


(例)No.10の場合の特別掛金率の推移(サンプル)

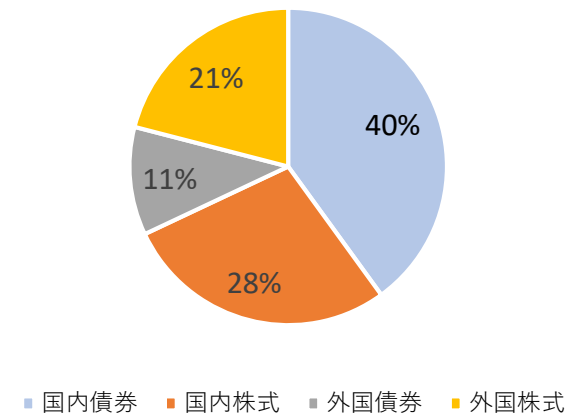


新しい資産構成の提案(サンプル)

現行の資産構成



提案

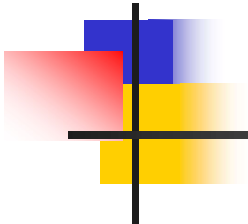


リターン: 4.58%

リスク : 10.05%

リターン: 4.34%

リスク : 8.94%

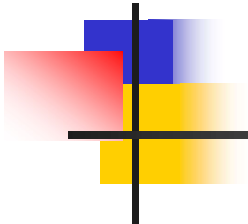


留意点

- 長期リターンは短期リターンとは一致しない。

【例】成熟度低く→株を増やして→不足金→掛金を少し上げておこう→...

- 母体の体力が大きな影響
- 単年度の損失が大きな影響
- 前提によって大きく結果が変わる
- 破局的な事態への対応は？



(参考)母体企業と年金ALM

- デニス・E・ログ、ジャック・S・ラダー「年金学入門」金融財政事情研究会
厚生年金基金連合会「厚生年金基金のリスク管理」2001年の抜粋を一部修正：
「いくつかの研究によれば、企業年金の資産配分には、決定の際に事業会社と企業年金を同時に考慮していることを示すような偏りが存在することがわかった。」
Friedman 1983
会社が内国歳入庁に報告するために使う様式5500号を用いて企業年金のデータを調査した。サンプルは1977年に届け出られた2万4426社からなっている。
 - ① 利益が変動する会社は、自分たちの企業年金の中では、比較的株式の保有が少なく、より安全な負債証券を多く保有している。
 - ②発行債券の多い会社（財務レバレッジの高い会社）は、企業年金のポートフォリオの中に、より多くの負債証券を保有する傾向にあると同時に、財務レバレッジの低い会社に比べると株式への投資割合が低い傾向がある。
 - ③ROEおよびROAで計った収益性の大きな会社は、収益性の小さな会社よりも、企業年金の中で、より多くの株式を保有している。
 - ④比較的若い従業員が多い会社は高齢の従業員が多い会社より、負債証券に多く投資する傾向にある。

(参考)オランダの比較研究

J.van Alphen; J.van As; H.F.Brings,W.van Heerdt,T. Steenkamp,F. R. Valkenburg,
D. Wenting,

“ALM Products Comparison”

Proceedings of the 7th international AFIR Colloquium,1997

同一制度への資産構成提案比較 (%)

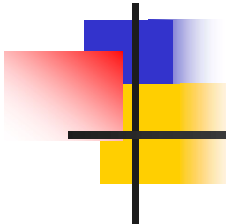
	債券合計	国内債	外債	株式
現行資産構成	65	50	15	35
F社	65	64	1	35
O社	60			40
T社	30			70
M社	50			50
P社	40			※60

※15%不動産を含む

前提(下表)が異なると、推奨される資産構成(左表)が、大きく変わってくる。

前提となるリターンの期待値(平均年間変化率:%)

	インフレ率		株式			債券		
	賃金	物価	計	国内	国外	計	国内	国外
F社	4.5	2.4		9.5	9.0		6.5	6.5
O社	4.6	3.5	11.5			7.5		
T社	2.8	2.6	10.6				6.4	7.3
M社		4.5	10.4			6.7		
P社				12.1	11.3	8.2		
P社シナリオ1	4.8	4.5		13.8	11.3	7.2		
P社シナリオ2	4.1	3.1		17.3	16.5	7.3		
P社シナリオ3	6.3	4.9		11.6	12.2	8.2		
P社シナリオ4	5.6	3.4		14.0	11.2	7.2		



3. バランスシート型ALM

3.1 バランスシート型ALMとは

年金制度のバランスシートの注目し、資産と負債に金利等の変化が及ぼす影響を受けるかを分析し、サープラス(剰余＝資産－負債)の変動リスクに注目しながら実施するALM。

市場金利によって債務が変動する退職給付会計の登場(右下図)で、重要性が一時期注目された。

財政

資産	数理債務
不足金	

負債が金利変動しない
(但し、通常の確定給付型企业年金の場合)

会計

資産	退職給付債務 (DBO)
数理計算上の差異	

負債が金利変動する

金利上昇⇒割引率上昇⇒退職給付債務低下

モデル

- ・入社年齢 20歳
- ・現在の年齢 45歳(勤続年数25年)
- ・退職時年齢 60歳(勤続年数40年)
- ・退職時の給付 2,000万円
- ・割引率 2.5%
- ※退職率は「0%」の前提

退職時の給付額(①)

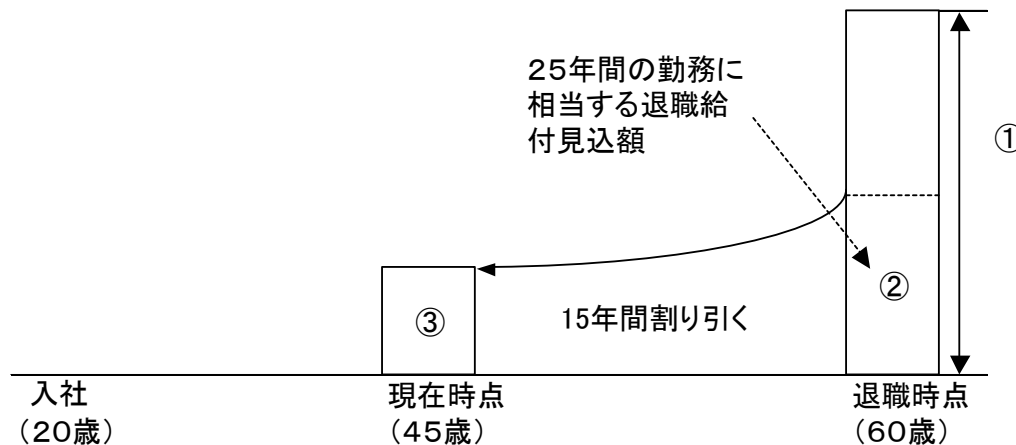
$$2,000\text{万円} \times \frac{\text{現在までの勤続年数(25年)}}{\text{退職までの勤続年数(40年)}} = 1,250\text{万円} \cdots \textcircled{2}$$

現在の価値に割り引いた金額(③)

$$= 1,250\text{万円} \times \frac{1}{(1+0.025)^{15}} = 863\text{万円}$$

1.448298

退職給付債務のイメージ図



割引率を1.5%に下げたら？

$$1,250\text{万円} \times \frac{1}{(1+0.015)^{15}} = 1000\text{万円}$$

1.250232

割引率を3.5%に上げたら？

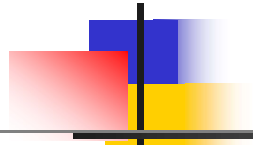
$$1,250\text{万円} \times \frac{1}{(1+0.035)^{15}} = 746\text{万円}$$

1.675348

(まとめ)

	低下	上昇	
割引率	1.5%	2.5%	3.5%
DBO	1000万円	863万円	746万円

増加 減少

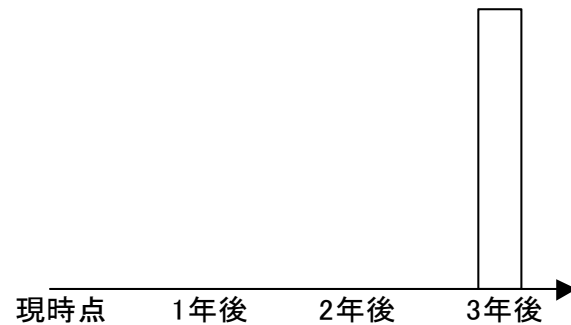


3.2 債券のキャッシュフローと年金債務のキャッシュフロー

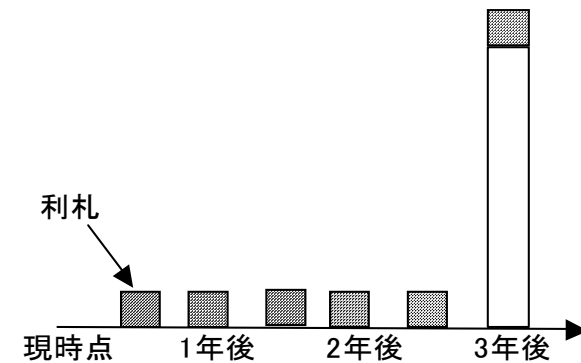
・債券のキャッシュフロー

債券はキャッシュフローの特性から利付債と割引債に分類できる。

割引債



利付債



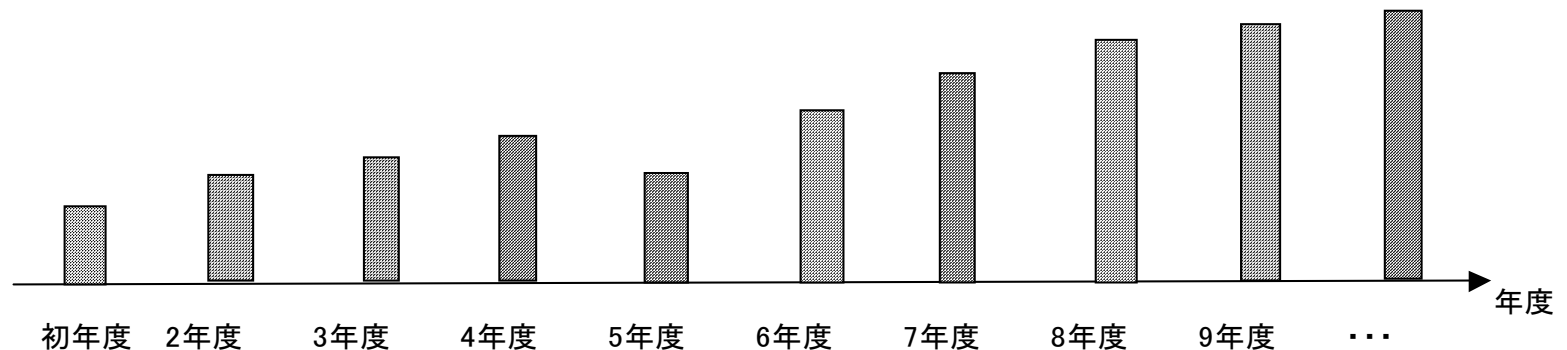
このキャッシュフローは、債券の購入者からするとキャッシュ・インフロー、債券の発行者からみるとキャッシュ・アウト・フローである。

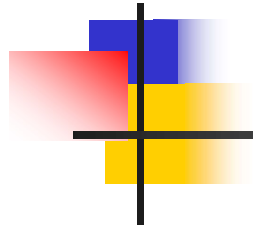
・年金の支払と債券のアナロジー

年金の支払のキャッシュフローを時系列で見ると、期間が長く満期の無い債券のように見ることが出来る。

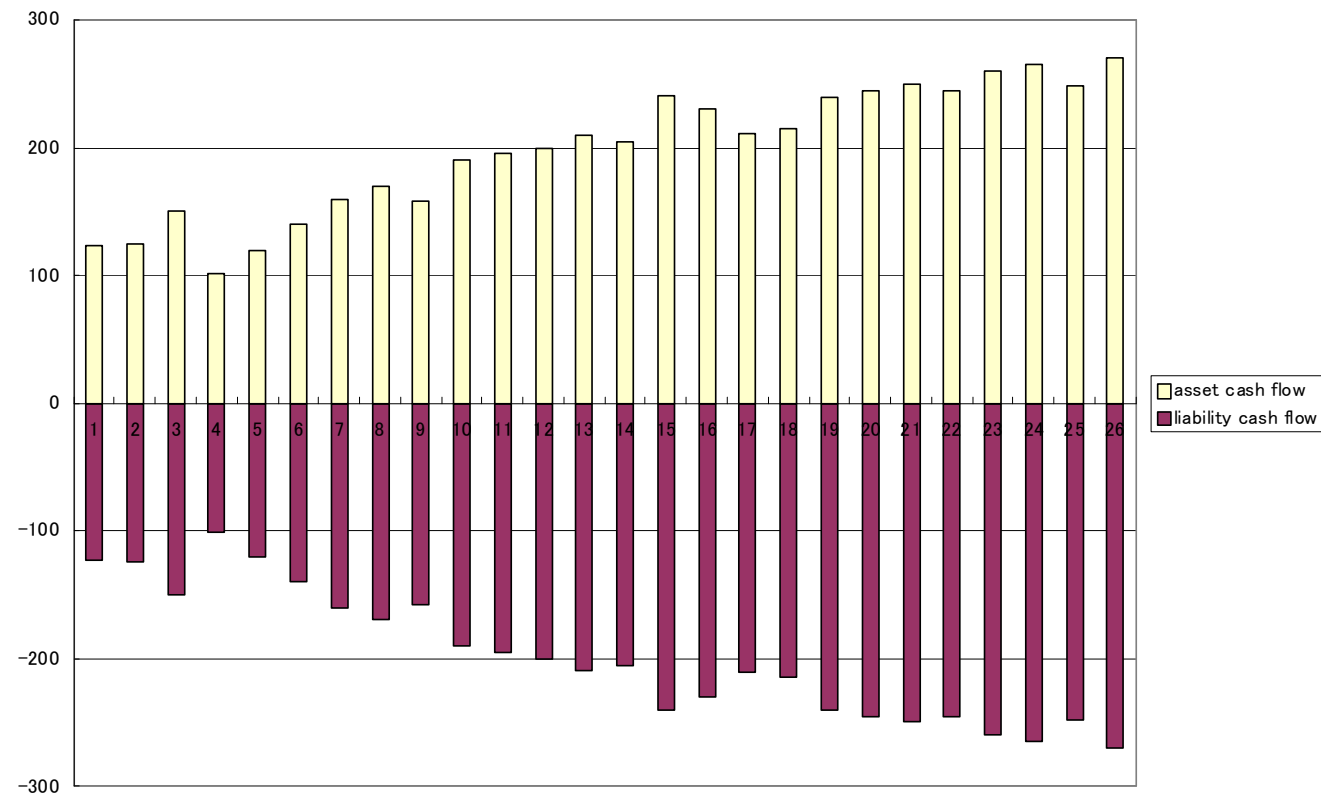
債券の発行者を年金基金と同様に見ることが出来る。

そこで、債券で使われる手法を年金に応用できる。



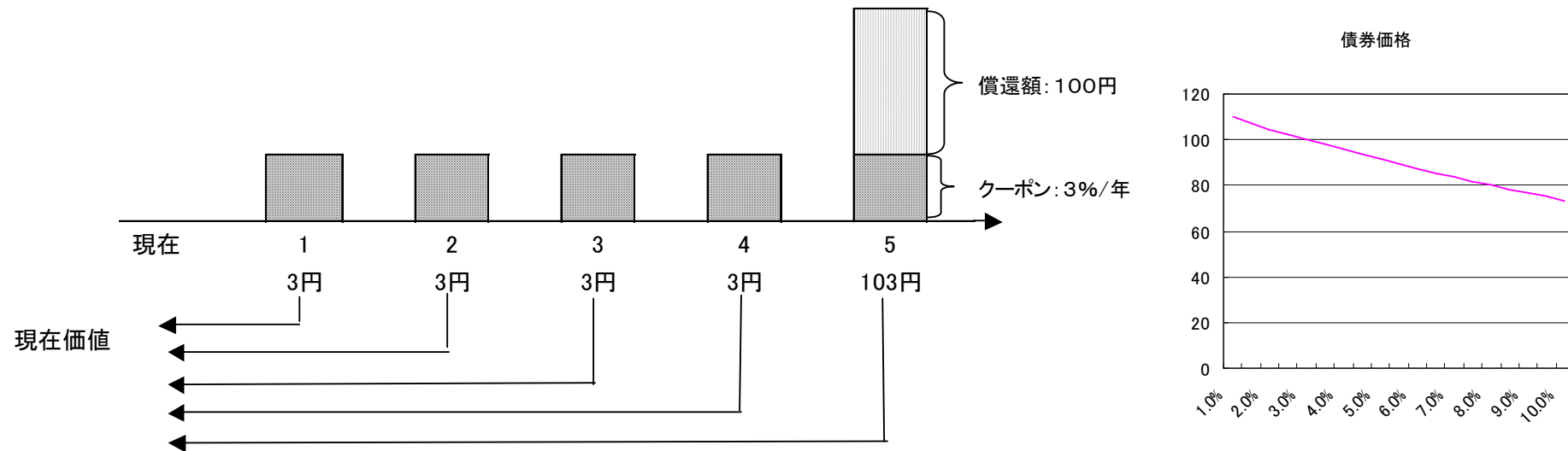


3.3 キャッシュ・フロー・マッチング



3.4 デュアレーション・マッチング

満期5年、クーポン3%の債券の価格は、今後5年間3%の金利が続くとすると100円となる。すなわち、将来のキャッシュフローを現在価値に割り戻した値の合計が、現在の債券価格になる。金利が変動して4%になると、債券価格は95.55円となり、4.45円低下する。金利が2%になると債券価格は104.7円となり、4.7円上昇する。



金利3%の債券価格: $3/(1+0.03)+3/(1+0.03)^2+3/(1+0.03)^3+3/(1+0.03)^4+103/(1+0.03)^5 \approx 2.913 + 2.828 + 2.745 + 2.665 + 88.85 = 100$

金利4%の債券価格: $3/(1+0.04)+3/(1+0.04)^2+3/(1+0.04)^3+3/(1+0.04)^4+103/(1+0.04)^5 \approx 2.885 + 2.774 + 2.667 + 2.564 + 84.66 = 95.55$

金利2%の債券価格: $3/(1+0.02)+3/(1+0.02)^2+3/(1+0.02)^3+3/(1+0.02)^4+103/(1+0.02)^5 \approx 2.941 + 2.884 + 2.827 + 2.772 + 93.29 = 104.7$

このように、金利の上昇・下落により債券価格は下落・上昇するが、その変化の度合いを示す指標をデュアレーション(duration)と呼ぶ。

債券価格: $P = \sum_{i=1}^n C_i / (1+y)^i$ 但し、 C_i はi年度末のキャッシュフロー、yは金利

$$\partial P / \partial y = \partial / \partial y \sum_{i=1}^n C_i / (1+y)^i = \partial / \partial y \sum_{i=1}^n C_i (1+y)^{-i} = \sum_{i=1}^n (-i C_i (1+y)^{-i-1}) = -(1+y)^{-1} \sum_{i=1}^n i C_i (1+y)^{-i}$$

Macaulay duration = $\sum_{i=1}^n i C_i (1+y)^{-i} / \sum_{i=1}^n C_i (1+y)^{-i} = D$ とおく。(キャッシュフローウエイトの満期)

Modified duration = $(-1/P)(\partial P / \partial y) = D / (1+y)$ これが、金利変化に対する債券価格の変化を表すものとなる。



金利3%の場合:

$$\begin{aligned}
 \text{Macaulay duration の分子の計算} &= 1 \cdot 3 / (1+0.03) + 2 \cdot 3 / (1+0.03)^2 + 3 \cdot 3 / (1+0.03)^3 + 4 \cdot 3 / (1+0.03)^4 + 5 \cdot 103 / (1+0.03)^5 \\
 &= 2.913 + 5.656 + 8.236 + 10.66 + 444.2 \\
 &= 471.7 \\
 \text{Macaulay duration} &= 471.7 / 100 = 4.717 \\
 \text{Modified duration} &= 4.717 / 1.03 = 4.58
 \end{aligned}$$

金利4%の場合:

$$\begin{aligned}
 \text{Macaulay duration の分子の計算} &= 1 \cdot 3 / (1+0.04) + 2 \cdot 3 / (1+0.04)^2 + 3 \cdot 3 / (1+0.04)^3 + 4 \cdot 3 / (1+0.04)^4 + 5 \cdot 103 / (1+0.04)^5 \\
 &= 2.885 + 5.547 + 8.001 + 10.26 + 423.3 \\
 &= 450 \\
 \text{Macaulay duration} &= 450 / 95.55 = 4.709 \\
 \text{Modified duration} &= 4.709 / 1.04 = 4.528
 \end{aligned}$$

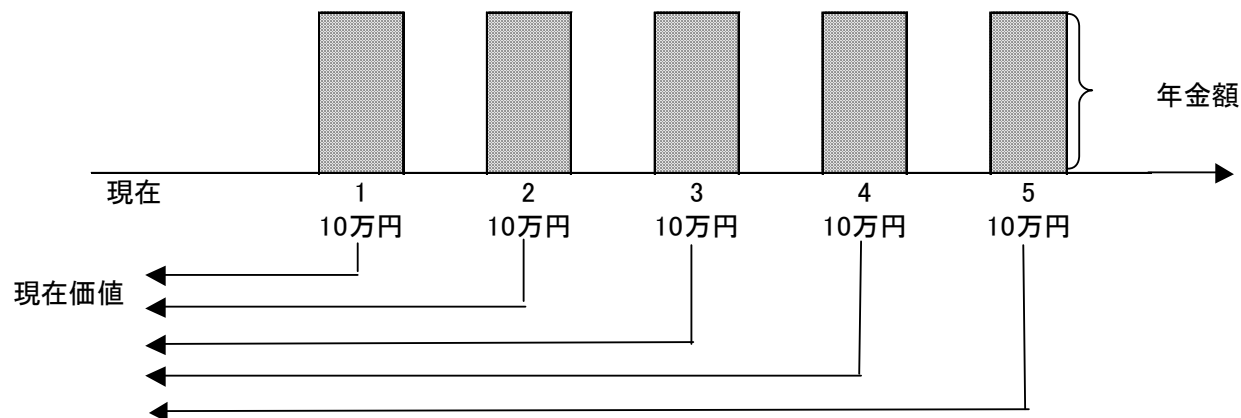
金利2%の場合:

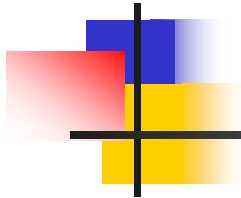
$$\begin{aligned}
 \text{Macaulay duration の分子の計算} &= 1 \cdot 3 / (1+0.02) + 2 \cdot 3 / (1+0.02)^2 + 3 \cdot 3 / (1+0.02)^3 + 4 \cdot 3 / (1+0.02)^4 + 5 \cdot 103 / (1+0.02)^5 \\
 &= 2.941 + 5.767 + 8.481 + 11.09 + 93.29 \\
 &= 494.7 \\
 \text{Macaulay duration} &= 494.7 / 104.7 = 4.725 \\
 \text{Modified duration} &= 4.725 / 1.02 = 4.632
 \end{aligned}$$

durationの特徴:

満期の長期化: durationの長期化
 利払い増加: durationの短期化
 金利の上昇: durationの短期化

負債に関してもdurationの計算は可能。クーポンや元本の変わりに年金支払額をキャッシュフローと考えればよい。
 毎年年末に10万円ずつ5年間年金が支払われると考える。





金利3%の給付現価: $10/(1+0.03)+10/(1+0.03)^2+10/(1+0.03)^3+10/(1+0.03)^4+10/(1+0.03)^5 = 9.709 + 9.426 + 9.151 + 8.885 + 8.626 = 45.8$

金利4%の給付現価: $10/(1+0.04)+10/(1+0.04)^2+10/(1+0.04)^3+10/(1+0.04)^4+10/(1+0.04)^5 = 9.615 + 9.246 + 8.89 + 8.548 + 8.219 = 44.52$

金利2%の給付現価: $10/(1+0.02)+10/(1+0.02)^2+10/(1+0.02)^3+10/(1+0.02)^4+10/(1+0.02)^5 = 9.804 + 9.612 + 9.423 + 9.238 + 9.057 = 47.13$

金利3%の場合:

Macaulay duration の分子の計算 = $1 \cdot 10/(1+0.03)+2 \cdot 10/(1+0.03)^2+3 \cdot 10/(1+0.03)^3+4 \cdot 10/(1+0.03)^4+5 \cdot 10/(1+0.03)^5$
 = $9.709 + 18.85 + 27.45 + 35.54 + 43.13$
 = 134.7
 Macaulay duration = $134.7 / 45.8 = 2.941$
 Modified duration = $2.941 / 1.03 = 2.855$

金利4%の場合:

Macaulay duration の分子の計算 = $1 \cdot 10/(1+0.04)+2 \cdot 10/(1+0.04)^2+3 \cdot 10/(1+0.04)^3+4 \cdot 10/(1+0.04)^4+5 \cdot 10/(1+0.04)^5$
 = $9.615 + 18.49 + 26.67 + 34.19 + 41.1$
 = 130.1
 Macaulay duration = $130.1 / 44.52 = 2.922$
 Modified duration = $2.922 / 1.04 = 2.809$

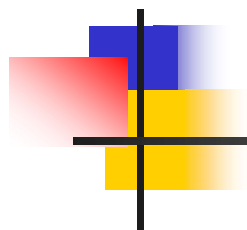
金利2%の場合:

Macaulay duration の分子の計算 = $1 \cdot 10/(1+0.02)+2 \cdot 10/(1+0.02)^2+3 \cdot 10/(1+0.02)^3+4 \cdot 10/(1+0.02)^4+5 \cdot 10/(1+0.02)^5$
 = $9.804 + 19.22 + 28.27 + 36.95 + 45.29$
 = 139.5
 Macaulay duration = $139.5 / 47.13 = 2.96$
 Modified duration = $2.96 / 1.02 = 2.902$

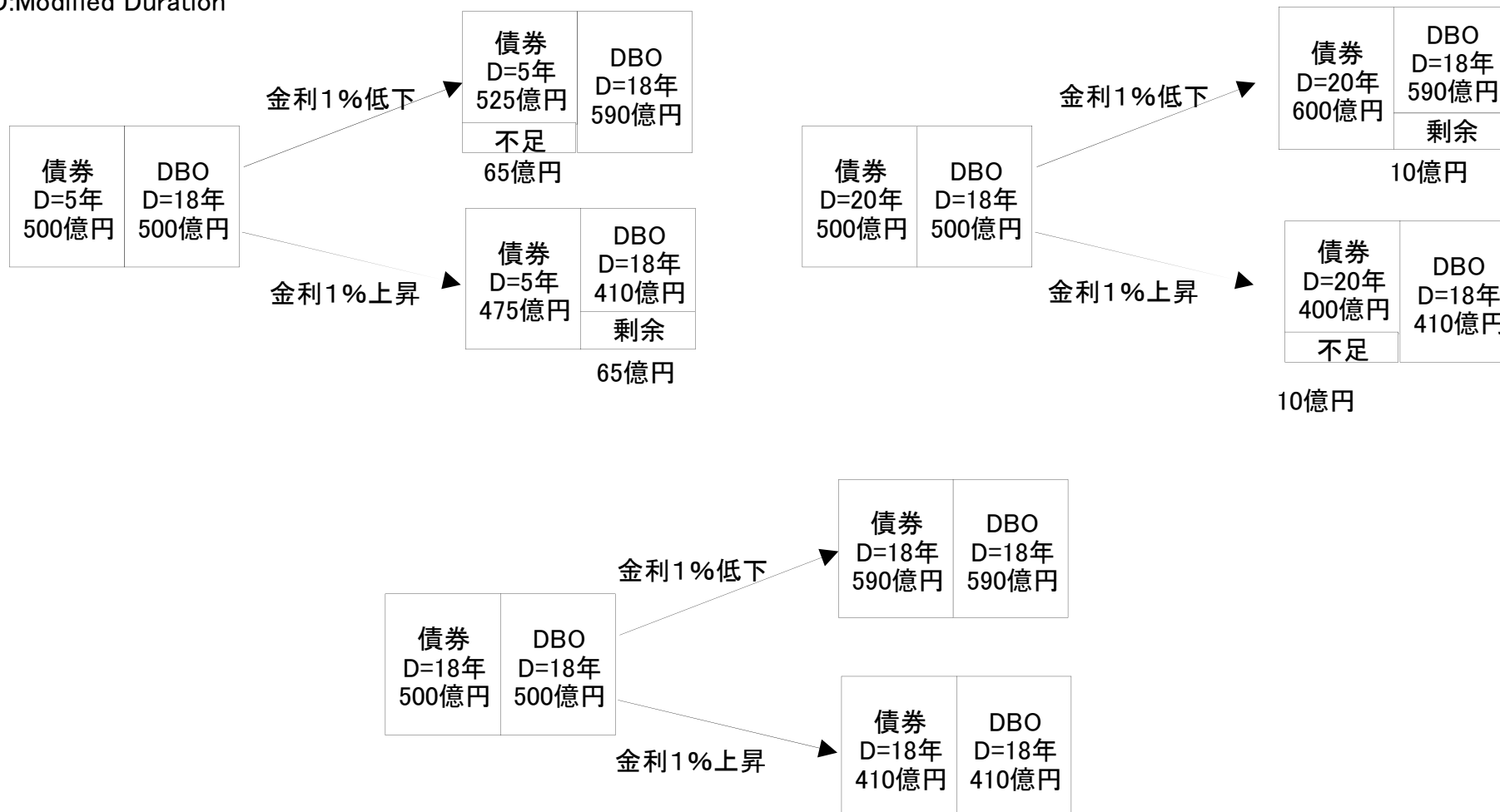
Rendington (Chief Actuary of Prudential Assurance)

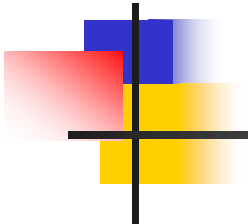
"Review of the Principle of Life-Office Valuation" Journal of the Institute of Actuaries 78:286- 315,1952

デュアレーションをマッチングさせる考え方。



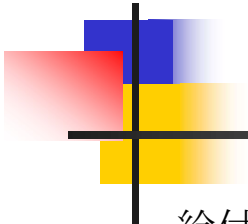
D:Modified Duration





例題

今から1年後に10万円、2年後に20万円、3年後に30万円を給付する年金債務について、利率年3%で給付現価(四捨五入して円単位とする)及び修正デュアレーション(modified duration)(四捨五入して小数点以下第5位までとする)を求めなさい。(計算過程も記述すること。給付現価の計算においては利率のみ考慮し、死亡率・脱退率は考慮しない。)



解答例

$$\text{給付現価} = 100,000 \times 1/1.03 + 200,000 \times 1/1.03^2 + 300,000 \times 1/1.03^3 = 560,149 \text{ 円}$$

マコーレー・デュアレーション

$$= (100,000 \times 1/1.03 + 200,000 \times 2 \times 1/1.03^2 + 300,000 \times 3 \times 1/1.03^3) / 560,149$$

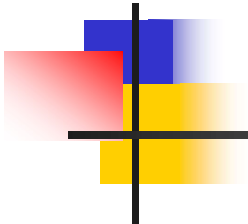
$$= 1,297,753 / 560,149$$

$$= 2.31680$$

修正デュアレーション

$$= \text{マコーレー・デュアレーション} / 1.03$$

$$= 2.24932$$



3.5 ホライズン・マッチング

ホライズン・マッチングとは、キャッシュフロー・マッチングとイミュナイゼーション(デュアレーション・マッチング)の組み合わせである。

例えば、直近1年のキャッシュ・アウト・フローに関しては、キャッシュフロー・マッチングを実施し、残りの期間のキャッシュ・アウト・フローに関してはイミュナイゼーションを実施するという手法である。

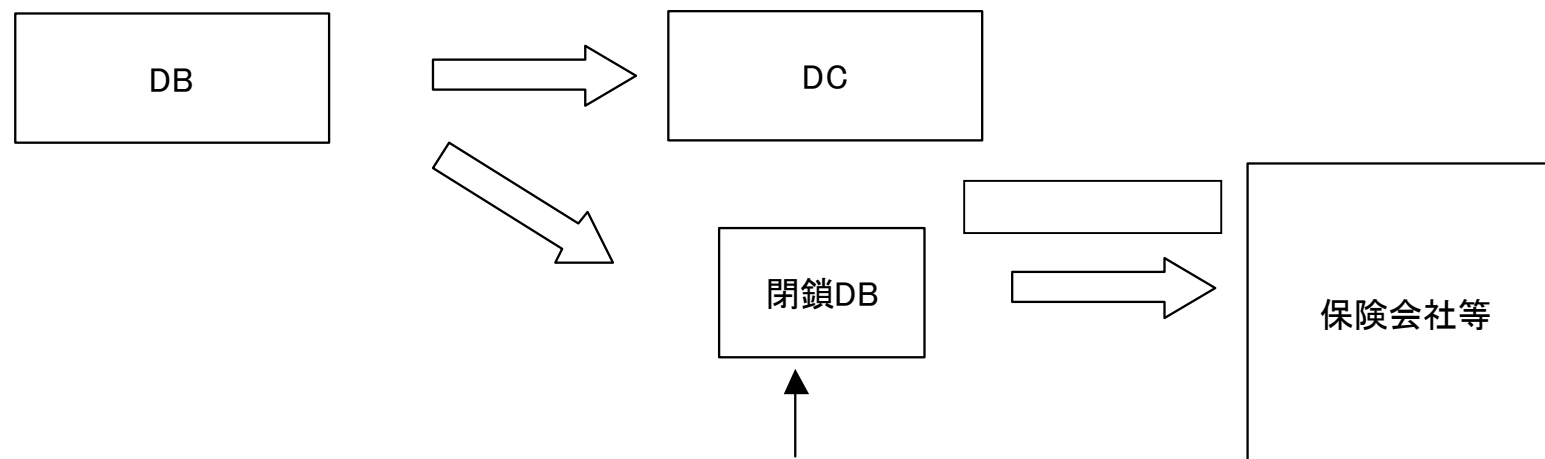
3.6 Liability Driven Investment (LDI)

LDIはALMの最も洗練された形態であり、スワップ等のデリバティブの積極的な活用を特徴としている。LDIは狭義のLDIと広義のLDIがある。

狭義のLDIは、資産と負債の差のボラティリティーを日々最小にすべく運営される。これは大きな積立不足のある制度にとっては有用である。積立不足の拡大が厳密に管理され、母体企業の拠出によって積立不足が改善する時間を稼げる。

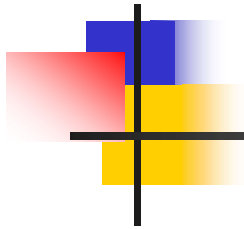
広義のLDIは、資産からのリターンが負債の伸び率よりも高いことを目標とするが、日々の剰余のボラティリティーの増加を受け入れる事により、資産のパフォーマンスの増加を狙う。

(参考) イギリスの閉鎖年金でのLDIの活用

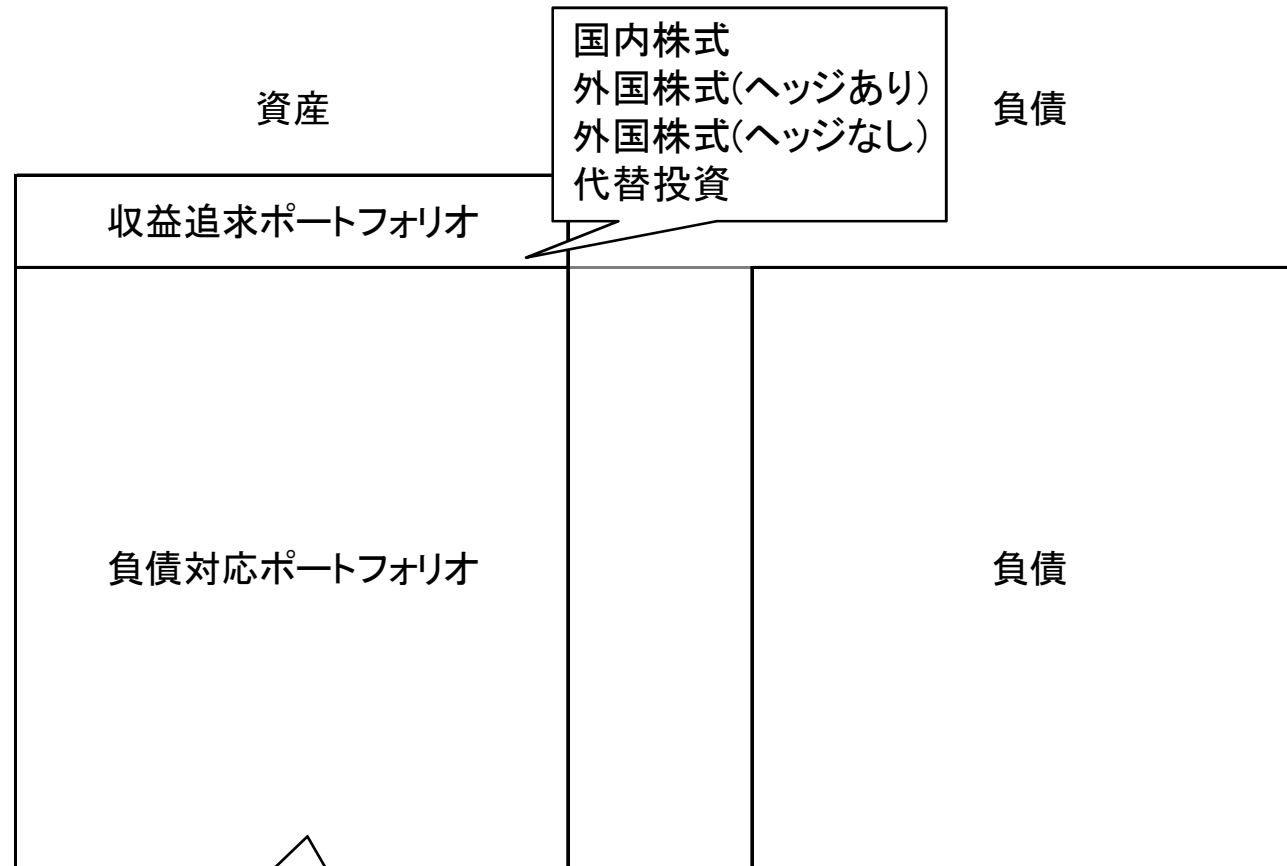


LDI(Liability Driven Investment)
による金利リスクヘッジ

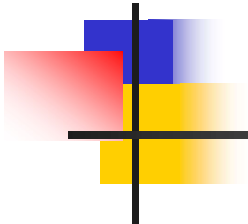
(さらに)
インフレリスク・ヘッジ
死亡率改善リスク・ヘッジ



事例



ただし、最近は債券の利回り低下で、このスキームを維持することが難しくなっている場合も多い。



(資料ご使用にあたって)

- 当資料に記載された運用商品、手法等は、リスクを含み、運用実績は市場環境等により変動します。
- 当資料は、現時点で信頼できると考えられる情報を基に作成していますが、情報の正確性および完全性を保証するものではありません。
- 当資料の一部または全部(引用部分を除く)を使用する場合は、ご一報ください。

年金シニアプラン総合研究機構

杉田 健

k-sugita@nensoken.or.jp