

Ⅱ．市場リスクの把握と管理

2011年12月

日本銀行金融機構局

金融高度化センター

目次

1. 現在価値アプローチ
2. BPV、GPSによるリスク量の把握
3. VaRによるリスク量の把握
4. VaRのバックテスト
5. VaRの限界とストレステスト

1. 現在価値アプローチ

◆ 世の中には、様々な金融資産・負債が存在。

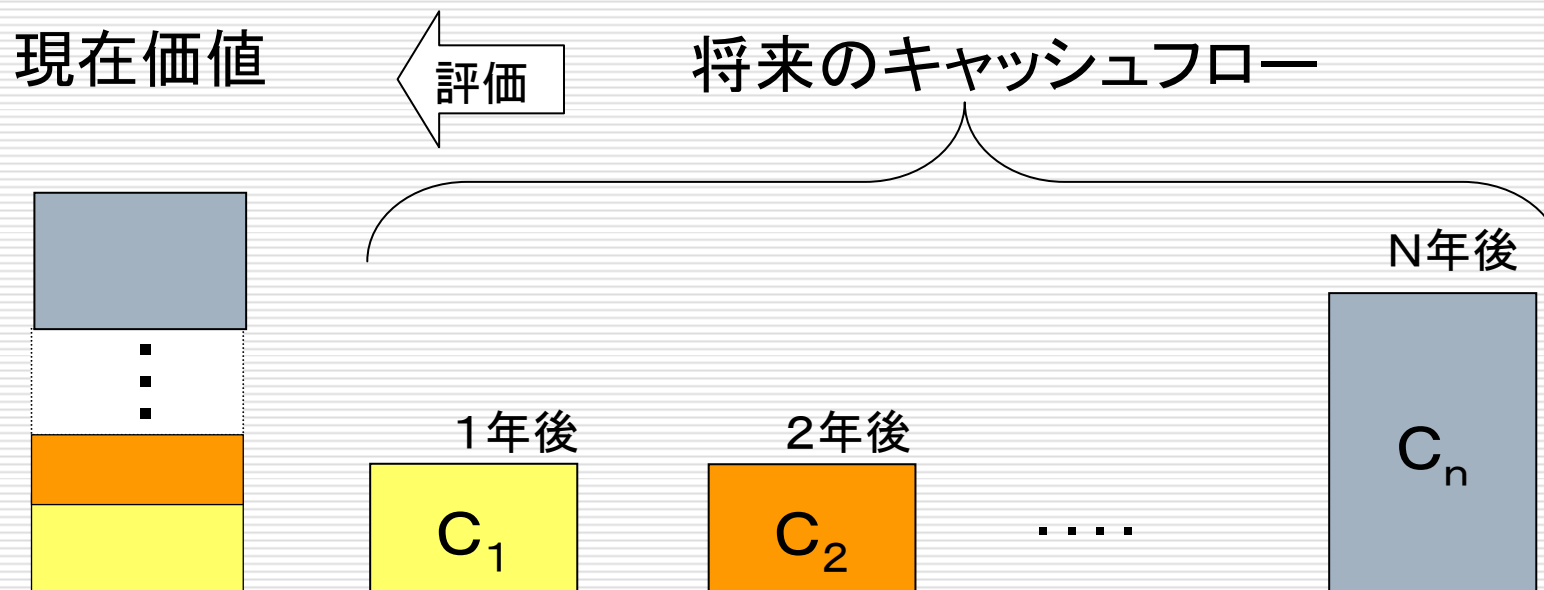
- 国債、地方債、社債
- 株式、投信、ファンド
- 預金
- 貸出 など

— これらを取引するとき、どのように価格を付けたらよいのか？

— また、その価格はどのような要因で変動し得るのか？

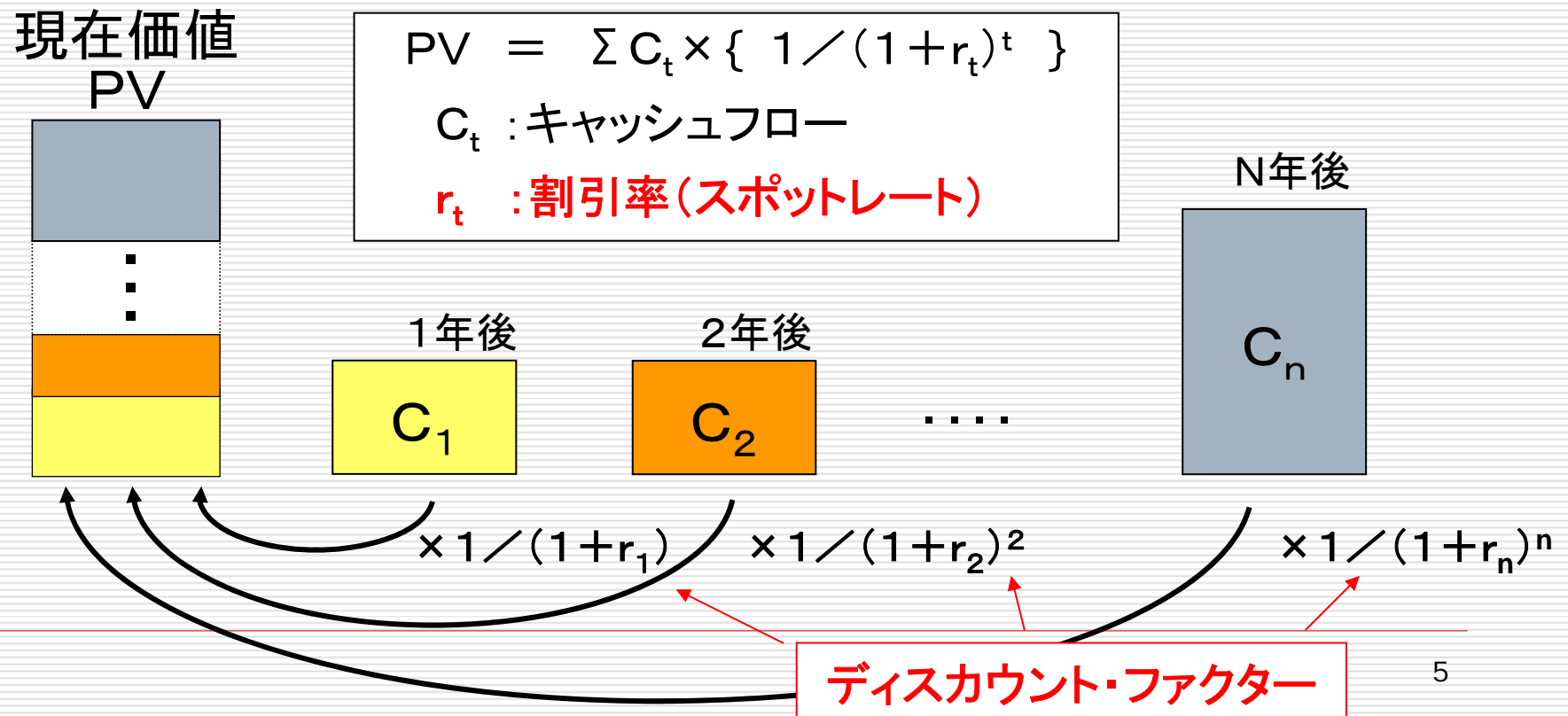
現在価値アプローチの考え方

- ◆ 金融資産・負債は、利息、配当、元本償還などの形で、将来、キャッシュフローを生み出す。
- ◆ 将来のキャッシュフローについて、その「現在価値」を評価し、その変動を分析するためのツールを提供する。



現在価値の計測方法

- ◆ 現在価値とは、当該資産・負債が生み出す将来のキャッシュフローを割り引いて集計したもの。



具体例① 債券投資

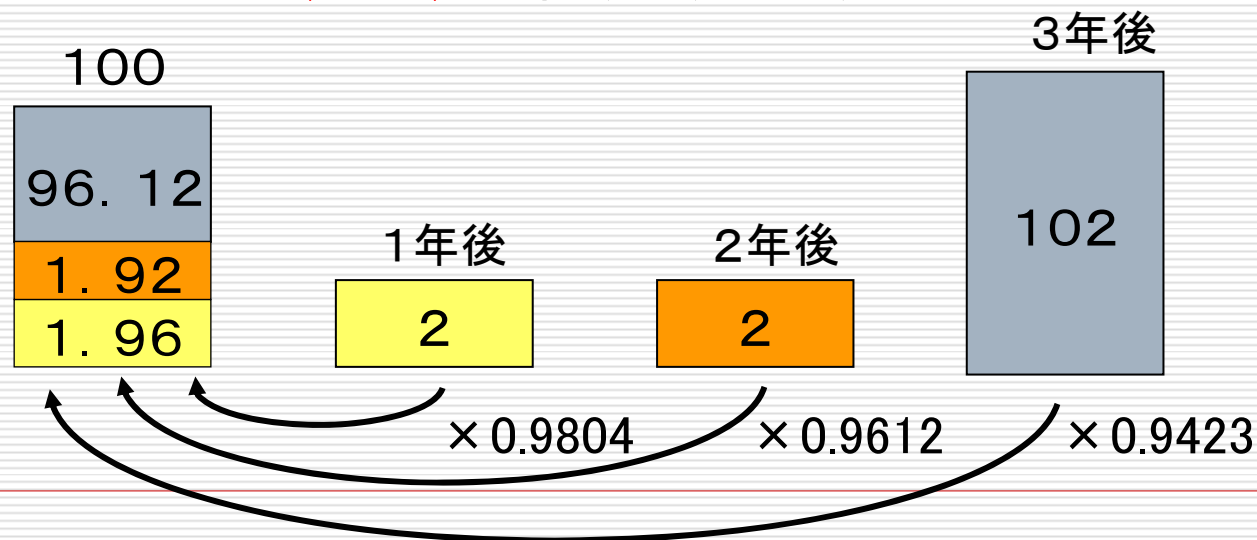
— 割引率2%のケース

元本 100億円
満期 3年後
利払 年 2億円
(クーポン2%)

ディスカウント・ファクター

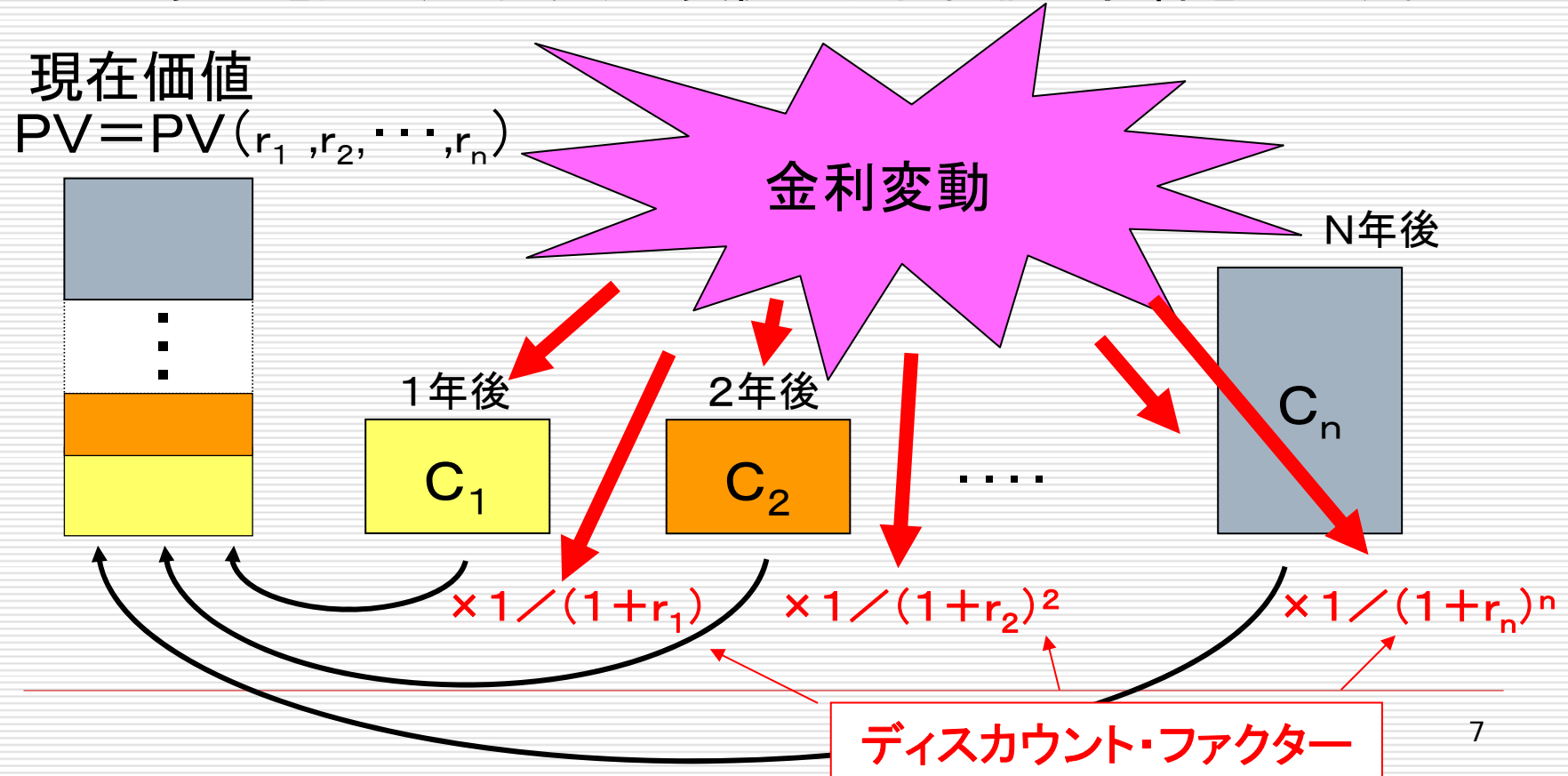
1年目:	$1 / (1 + 0.02)$	$= 0.9804$
2年目:	$1 / (1 + 0.02)^2$	$= 0.9612$
3年目:	$1 / (1 + 0.02)^3$	$= 0.9423$

割引率 $r = 2\% (0.02)$ (各期一定と想定)



金利変動の影響

- ◆ 金利変動は、将来のキャッシュフローやディスカウント・ファクターの変化を通じ、金融資産・負債の現在価値に影響を及ぼす。



具体例② 債券投資

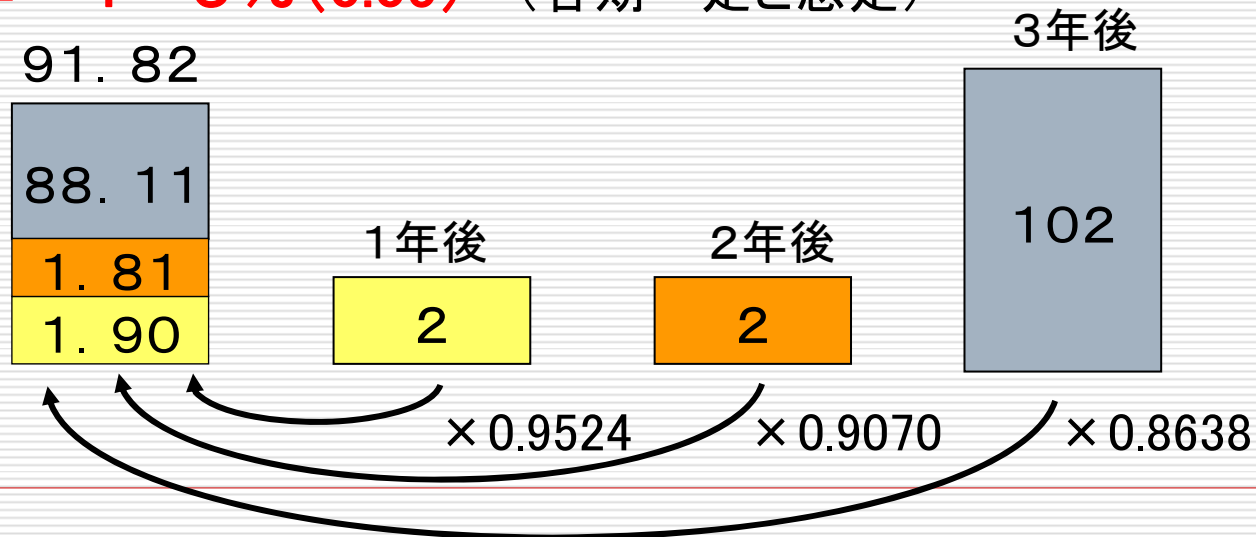
— 金利上昇(+3%):割引率5%のケース

元本 100億円
満期 3年後
利払 年 2億円
(クーポン2%)

ディスカウント・ファクター

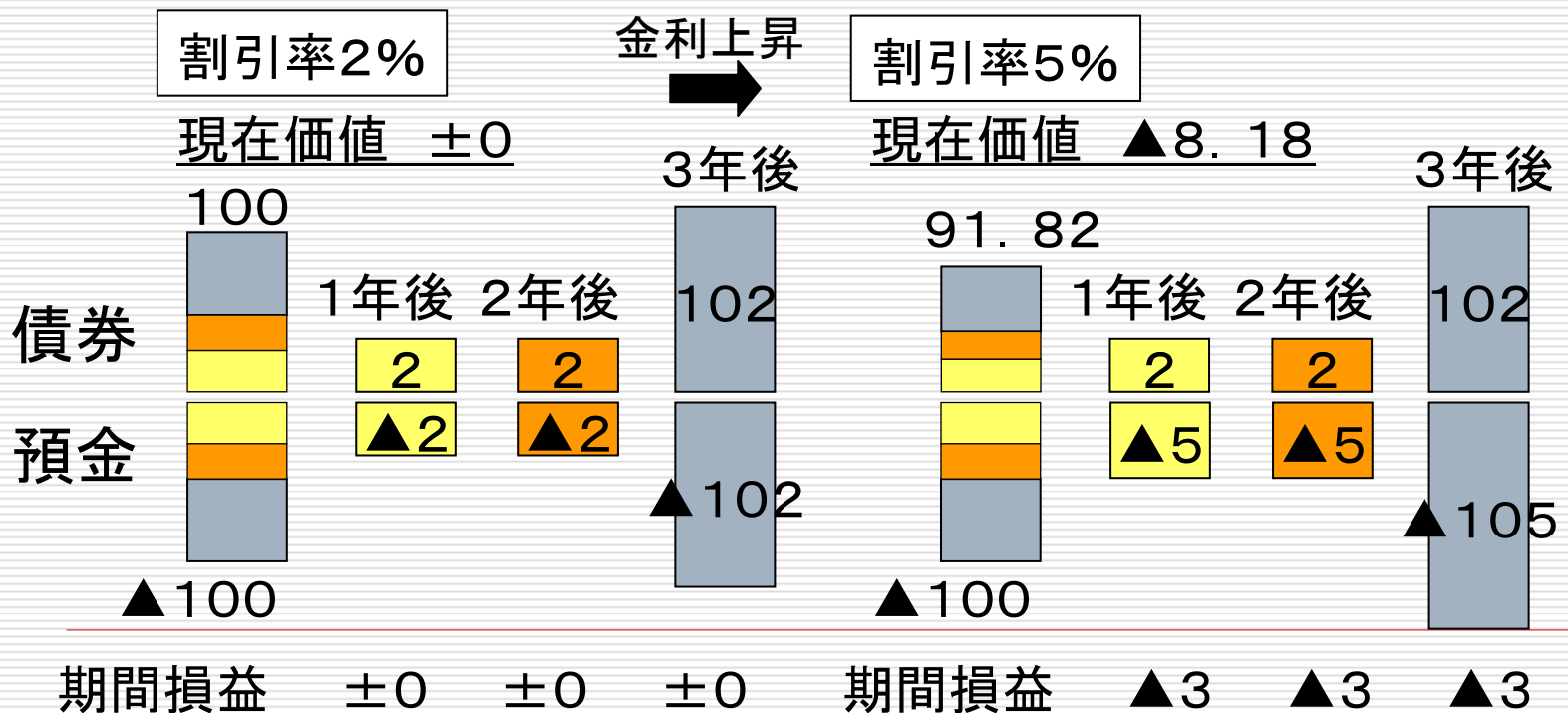
1年目:	$1 / (1 + 0.05)$	= 0.9524
2年目:	$1 / (1 + 0.05)^2$	= 0.9070
3年目:	$1 / (1 + 0.05)^3$	= 0.8638

割引率 $r=5\% (0.05)$ (各期一定と想定)



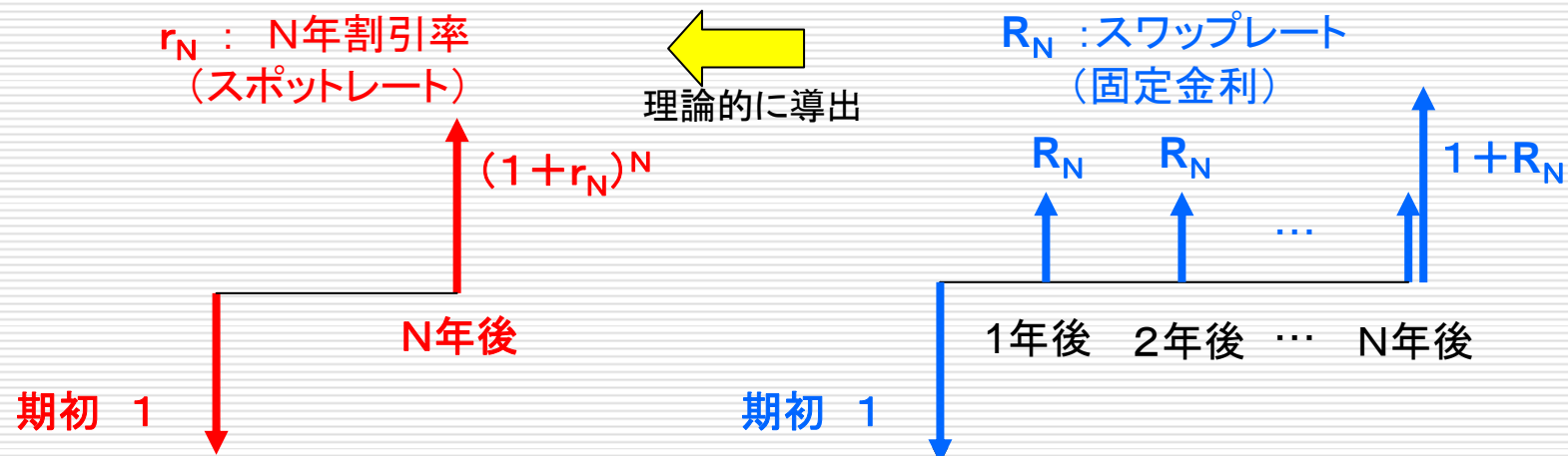
具体例③ 債券投資・預金調達 — 金利上昇(+3%)の影響

固定利付き債券 元本 100億円 満期 3年 利払 年 2億円	普通預金 元本 100億円 満期 なし(3年後に解約と想定) 利払 年 2億円 ⇒ 利払 年 5億円
---	--



(参考)割引率(スポットレート)の定義

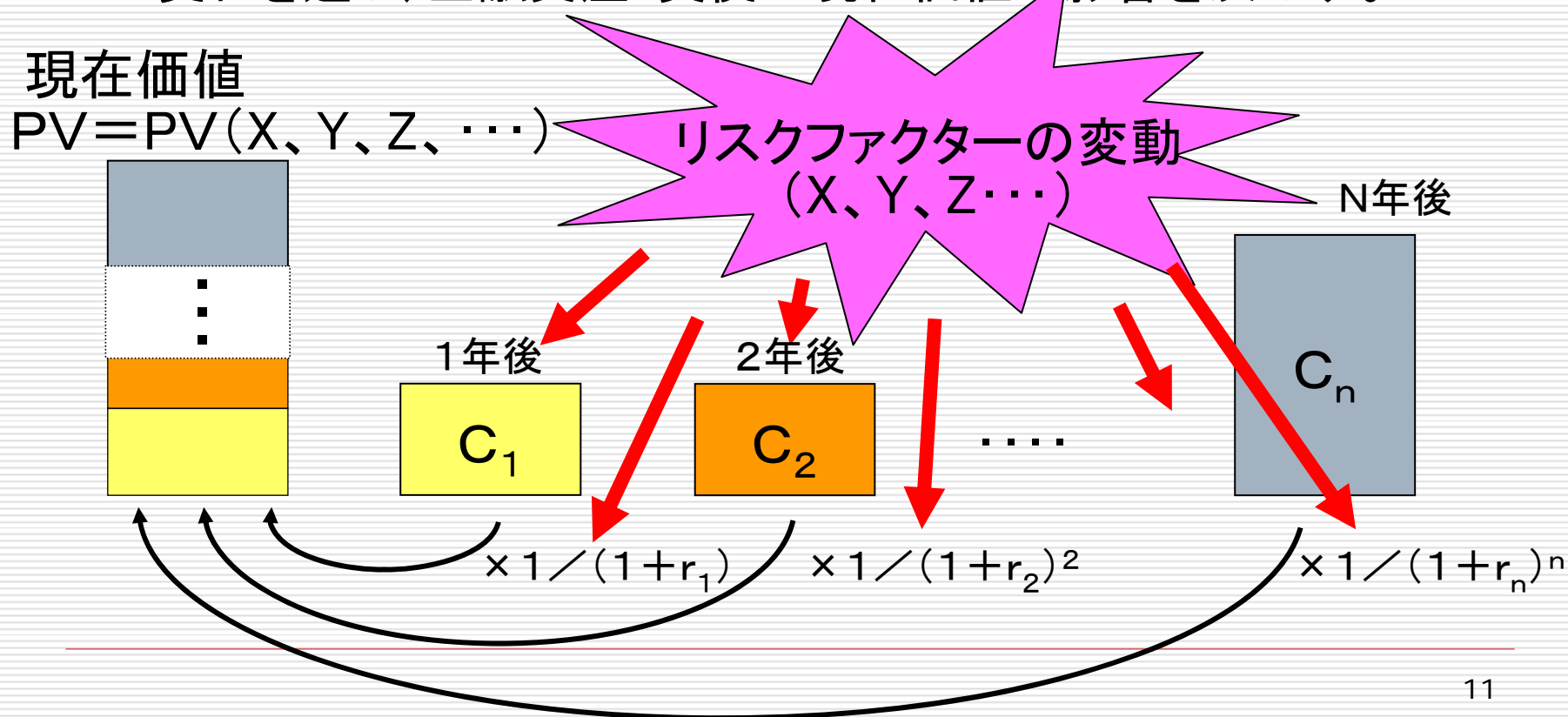
- 将来のキャッシュフローを現在価値に割り引くときに用いるレートのことを「スポットレート」という。
- 割引債のように、投資実行時点と回収時点のみにキャッシュフローが発生するときの複利最終利回り(r_N)として定義される。
- このため、ゼロ・クーポン・レートとも呼ばれる。



(参考)

リスクファクター： 現在価値の変動をもたらすもの

- ◆ 金利変動以外にも、株価、為替等様々なリスクファクターの変動が、将来のキャッシュフロー、ディスカウント・ファクターの変化を通じ、金融資産・負債の現在価値に影響を及ぼす。



(参考) 金融商品とリスクファクター

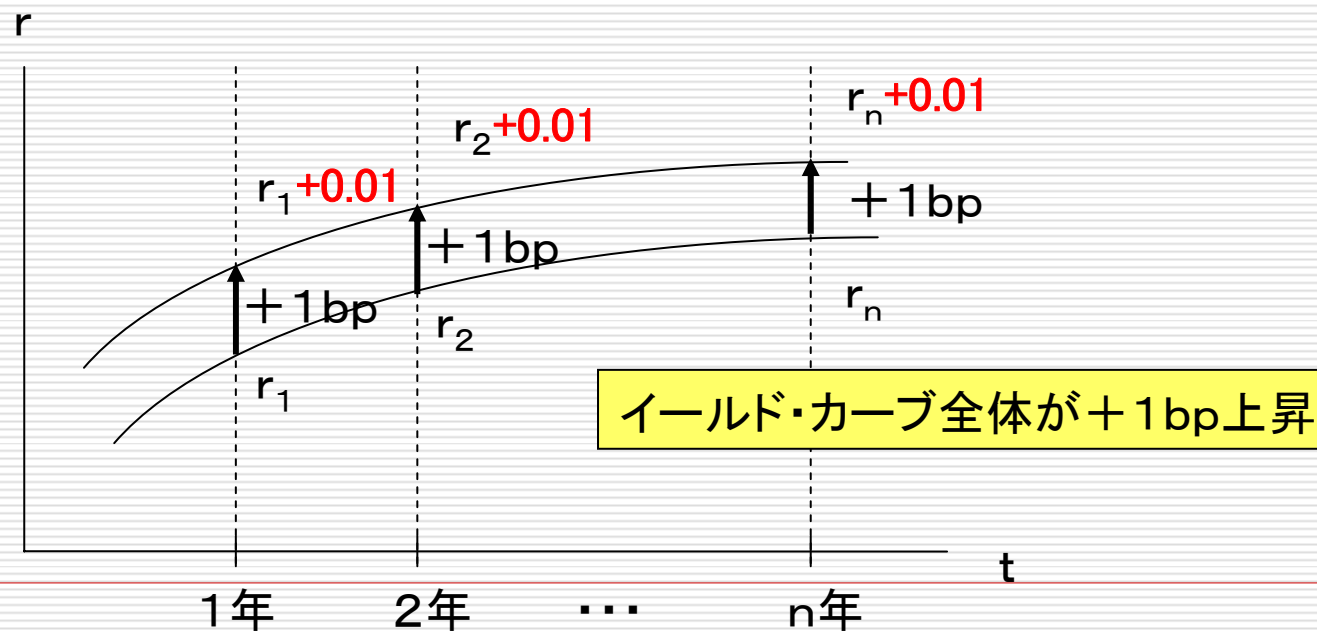
金融商品	主なリスクファクター
円建て預金・貸出	円金利
外貨預金・外貨貸付	為替、外貨建て金利
円建て債券	円金利
外貨建て債券	為替、外貨建て金利
仕組債、ファンド、投信	円・外貨建て金利、株価、為替
株式	株価

2. BPV、GPSによるリスク量の把握

(1) BPV(ベース・ポイント・バリュー)

- ◆ BPVは、すべての期間の金利が+1bp(=+0.01%)上昇するとの前提を置いたときの現在価値の減少額。

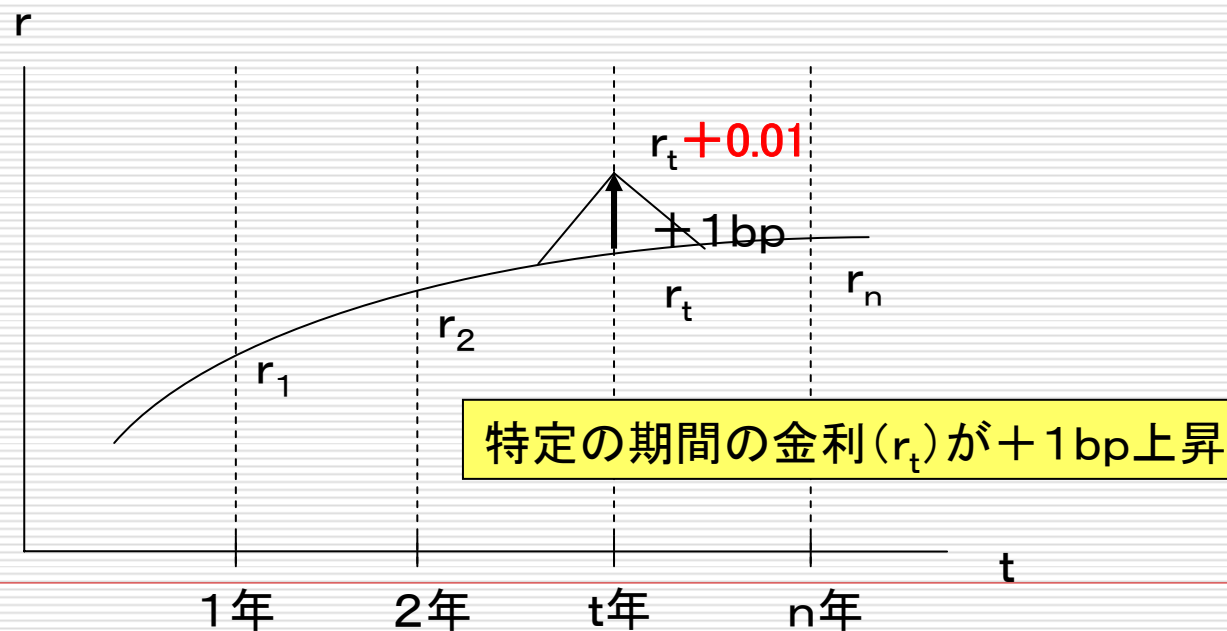
$$\text{BPV} = \text{PV}(r_1 + 0.01, r_2 + 0.01, \dots, r_n + 0.01) - \text{PV}(r_1, r_2, \dots, r_n)$$



(2) GPS (グリッド・ポイント・センシティブティ)

- ◆ GPSは、特定の期間の金利が+1bp(=+0.01%)上昇するとの前提を置いたときの現在価値の減少額。

$$\text{GPS} = \text{PV}(r_1, r_2, \dots, r_t + 0.01, \dots, r_n) - \text{PV}(r_1, r_2, \dots, r_t, \dots, r_n)$$



BPV、GPSの計算例

BPV、GPSの計算シート

債券残高(元本)	100	億円
クーポン	1.5	%

		1年	2年	3年	4年	5年	累計	
キャッシュフロー(額面)	CF	1.50	1.50	1.50	1.50	101.50	107.50	億円

	t	1年	2年	3年	4年	5年	累計	
割引率(スポットレート)①	$r①$	0.6327	0.7823	0.9648	1.1384	1.2928	—	
ディスカウントファクター①	$DF① = 1/(1+r①)^t$	0.9937	0.9845	0.9716	0.9557	0.9378	—	
現在価値①	$PV① = CF * DF①$	1.4906	1.4768	1.4574	1.4336	95.1859	101.0443	億円

		1年	2年	3年	4年	5年	
金利変動シナリオ(±bp)	(bp=0.01%)	1	1	1	1	1	bp

	t	1年	2年	3年	4年	5年	累計	
割引率(スポットレート)②	$r②$	0.6427	0.7923	0.9748	1.1484	1.3028	—	
ディスカウントファクター②	$DF② = 1/(1+r②)^t$	0.9936	0.9843	0.9713	0.9554	0.9373	—	
現在価値②	$PV② = CF * DF②$	1.4904	1.4765	1.4570	1.4330	95.1390	100.9959	億円

		GPS (1年)	GPS (2年)	GPS (3年)	GPS (4年)	GPS (5年)	BPV	
現在価値②－現在価値①	$BPV = \sum GPS$	-0.0001	-0.0003	-0.0004	-0.0006	-0.0470	-0.0484	億円
		-0.0148	-0.0293	-0.0433	-0.0567	-4.6972	-4.8413	百万円

金利スティープ化の影響試算

BPV、GPSの計算シート

債券残高(元本)	100	億円
クーポン	1.5	%

		1年	2年	3年	4年	5年	累計	
キャッシュフロー(額面)	CF	1.50	1.50	1.50	1.50	101.50	107.50	億円

	t	1年	2年	3年	4年	5年	累計	
割引率(スポットレート)①	$r①$	0.6327	0.7823	0.9648	1.1384	1.2928	—	
ディスカウントファクター①	$DF① = 1/(1+r①)^t$	0.9937	0.9845	0.9716	0.9557	0.9378	—	
現在価値①	$PV① = CF * DF①$	1.4906	1.4768	1.4574	1.4336	95.1859	101.0443	億円

		1年	2年	3年	4年	5年	
金利変動シナリオ(±bp)	(bp=0.01%)	0	50	100	150	200	bp

	t	1年	2年	3年	4年	5年	累計	
割引率(スポットレート)②	$r②$	0.6327	1.2823	1.9648	2.6384	3.2928	—	
ディスカウントファクター②	$DF② = 1/(1+r②)^t$	0.9937	0.9748	0.9433	0.9011	0.8505	—	
現在価値②	$PV② = CF * DF②$	1.4906	1.4623	1.4149	1.3516	86.3208	92.0402	億円

		GPS (1年)	GPS (2年)	GPS (3年)	GPS (4年)	GPS (5年)	BPV	
現在価値②－現在価値①	$BPV = \sum GPS$	0.0000	-0.0145	-0.0425	-0.0820	-8.8651	-9.0041	億円
		0.0000	-1.4545	-4.2461	-8.1985	-886.5142	-900.4133	百万円

(3)シナリオに基づくリスク量の把握

- ◆ リスクファクターに一定の変動シナリオを想定して金融資産・負債の現在価値の変動額を計算することにより、「リスク量」を捉える。

$$\text{リスク量 } \Delta PV = PV(X + \Delta X) - PV(X)$$

金融資産	シナリオ(例)	リスク量
債券 100億円 (期間5年、クーポン 1.5%)	すべての金利が +100bp上昇する。	100BPV = ▲4.7億円 (前頁EXCELで計算)
株式 100億円 (TOPIX連動率 $\beta = 0.8$)	TOPIXが30%下落する。	▲24億円 (=100 × 0.3 × 0.8)

(3) シナリオに基づくリスク量の把握(続き)

【特徴】

- ◆ 前提(シナリオ)と結果(リスク量)の関係が明確。
- ◆ 但し、前提(シナリオ)が実現する確率は分からない。

【利用方法】

- ◆ 市場部門のポジション管理
(例) 全期間の金利 10bp
 グリッド金利 1bp
 その他リスクファクターの単位変化 など
- ◆ リスク枠の設定、ストレステストでの利用
(例) 金利上昇 +100~200bp
 株価下落 ▲50% など

3. VaRによるリスク量の把握

- ◆ 金融資産・負債の現在価値は、金利・株価・為替等(リスクファクター)の変動の影響を受けて変化する。

- ① 過去の一定期間(観測期間)の金利・株価・為替等(リスクファクター)の変動データにもとづき
- ② 将来のある一定期間(保有期間)のうちに
- ③ ある一定の確率(信頼水準)の範囲内で
- ④ 当該金融資産・負債が被る可能性のある最大損失額を統計的手法により推定し、VaRとして定義する。

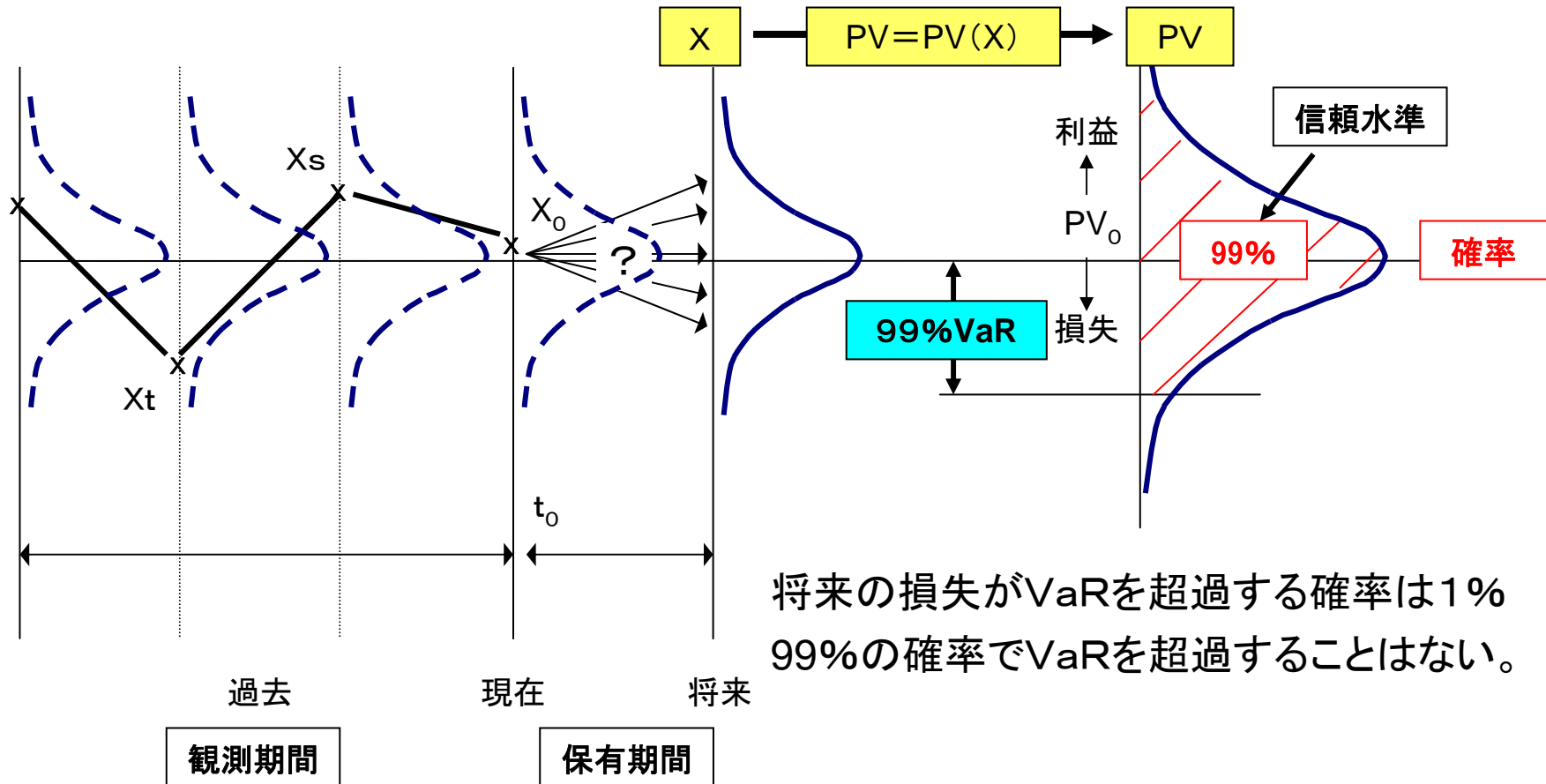
VaRの特徴を一言でいうと

- ◆ 「過去」のデータを利用して (backward-looking)
- ◆ 統計的手法で「推定」される (客観的)
- ◆ 「確率」を伴うリスク指標 (定量的)

市場VaR(概念図)

リスクファクター(X:金利、株価、為替など)の推移と、その確率分布

現在価値(PV)ベースの確率分布



市場VaRの計測手法

◆ 市場VaRの計測手法としては

- ①分散共分散法
- ②モンテカルロ・シミュレーション法
- ③ヒストリカル法

などがあるが、各計測手法の制約を踏まえ、リスクプロファイルに合った計測手法を選択する必要がある。

A. 分散共分散法

ー デルタ法とも呼ばれる

リスクファクターが正規分布にしたがって変動し、リスクファクターに対する当該資産・負債の現在価値の感応度(デルタ)が一定であると仮定して、VaRを算出する。

(利点)

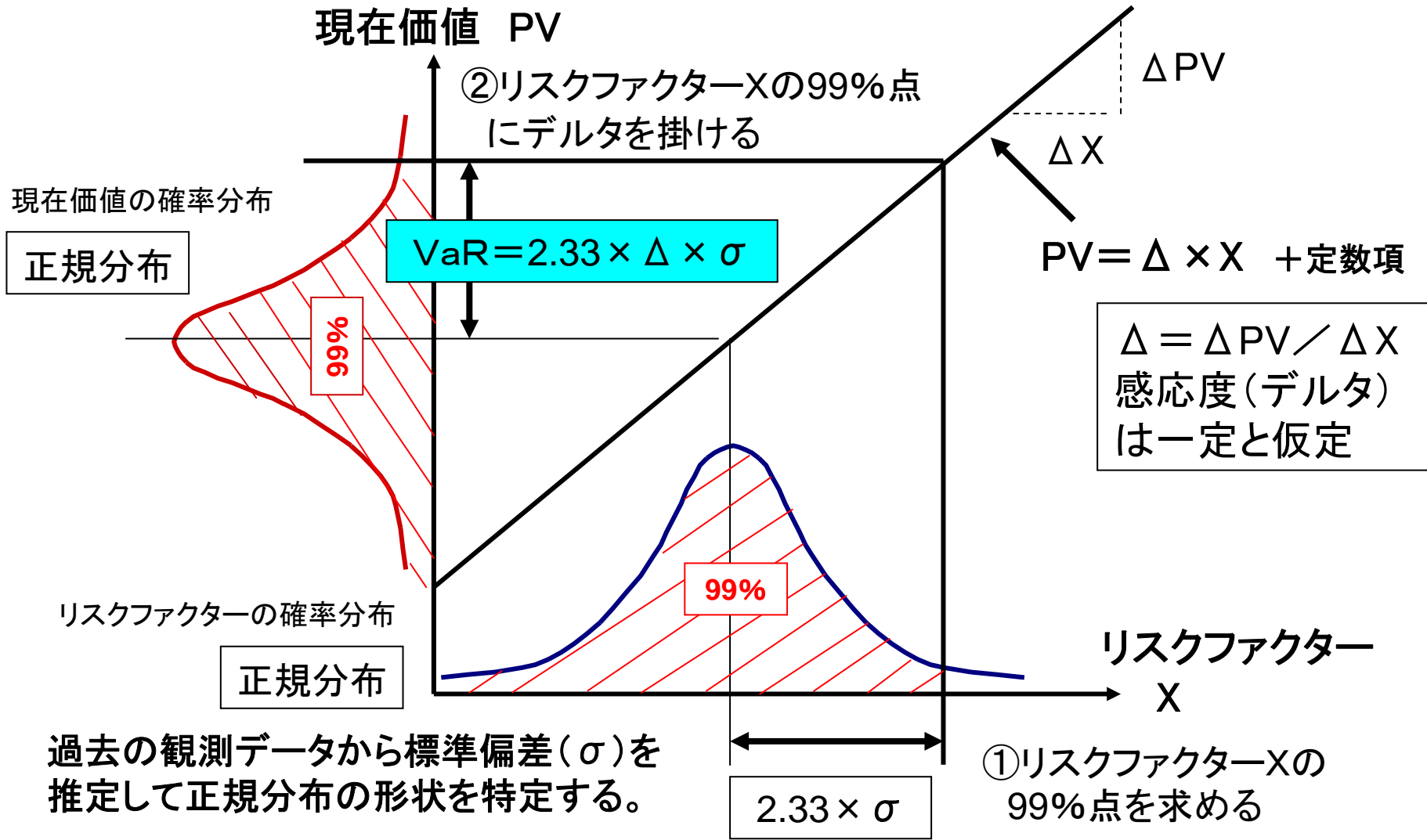
- VaRの算出が容易。

(欠点)

- リスクファクターの変動が、必ずしも正規分布に従うとは限らない(例えば、実際の分布がファット・テイルの場合、VaRを過少評価する可能性)。
- 感応度(デルタ)が一定にならない場合は、近似式での計測となる。

$$\text{感応度: デルタ}(\Delta) = \Delta PV / \Delta X$$

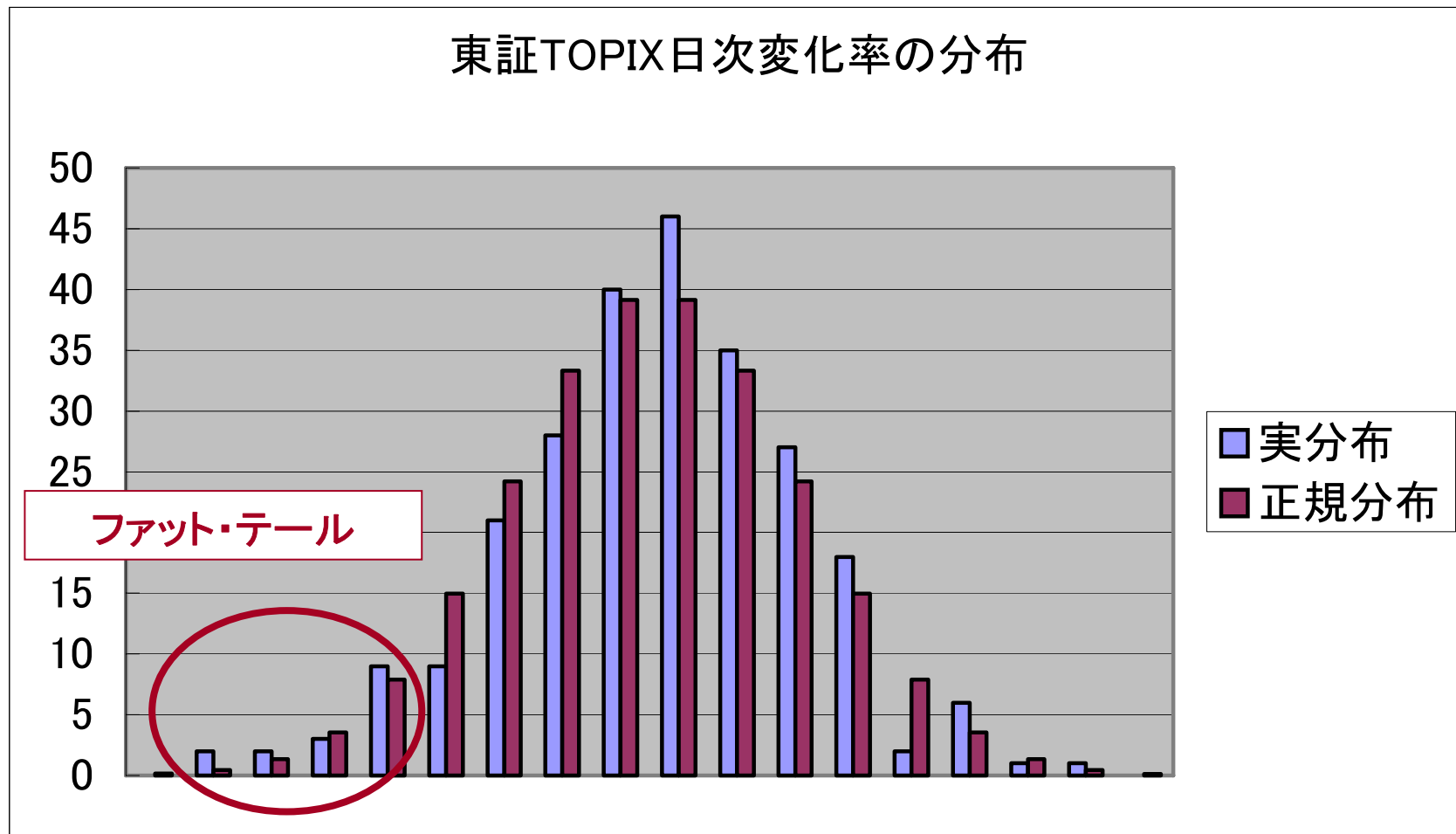
分散共分散法



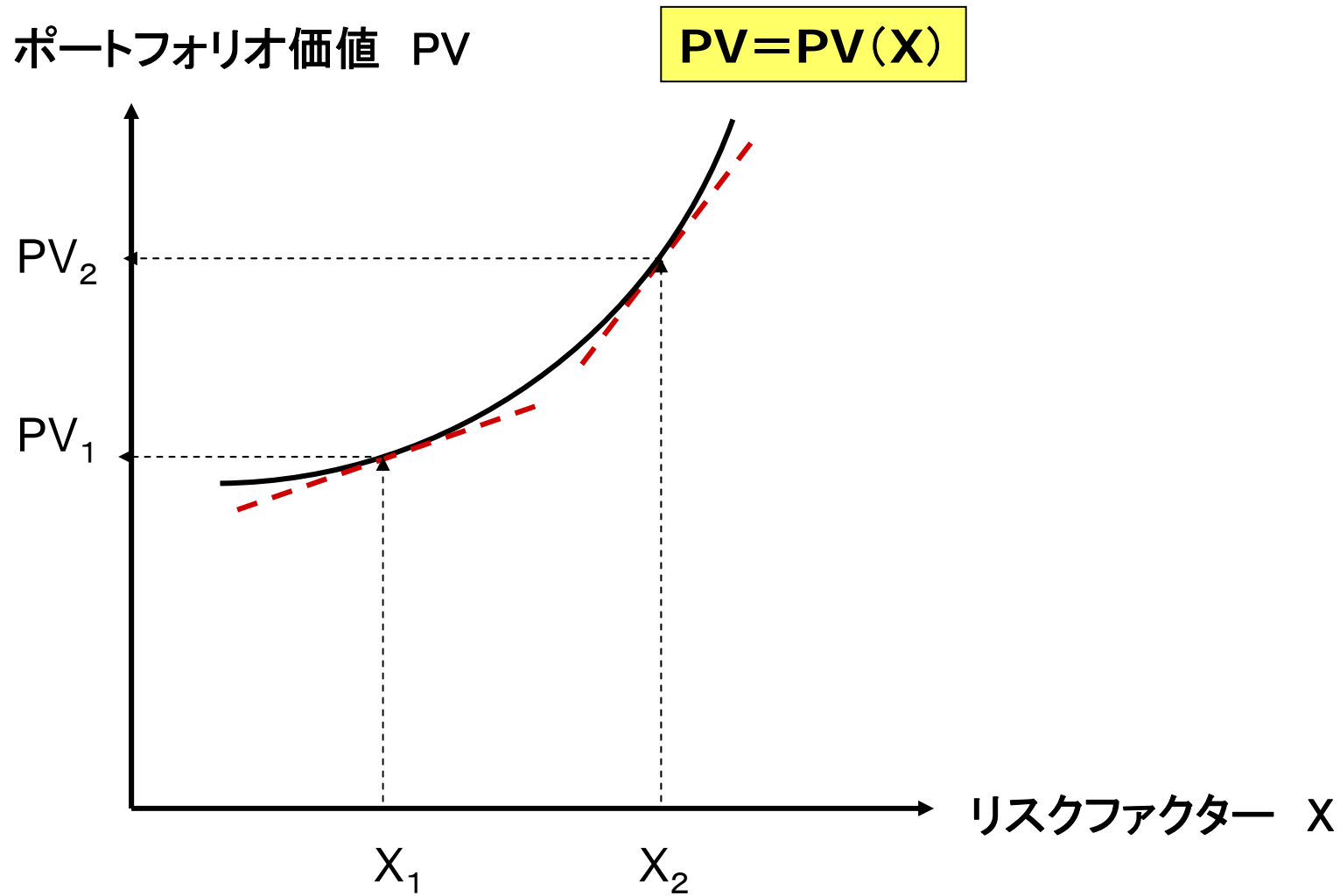
留意事項①

- ◆ リスクファクターの変動が正規分布に従うと仮定している。
- ◆ デルタは一定であると仮定している。
- ◆ 実際には、上記の仮定が満たされることはないが、分散共分散法で計測されたVaRは全く意味がないのか？
⇒ 分散共分散法で計測されたVaRについて「近似的な適用」が可能かどうかを検討する。

リスクファクターの変動 : ファットテールなケース



ポートフォリオ価値とリスクファクターの関係 : デルター一定が満たされないケース

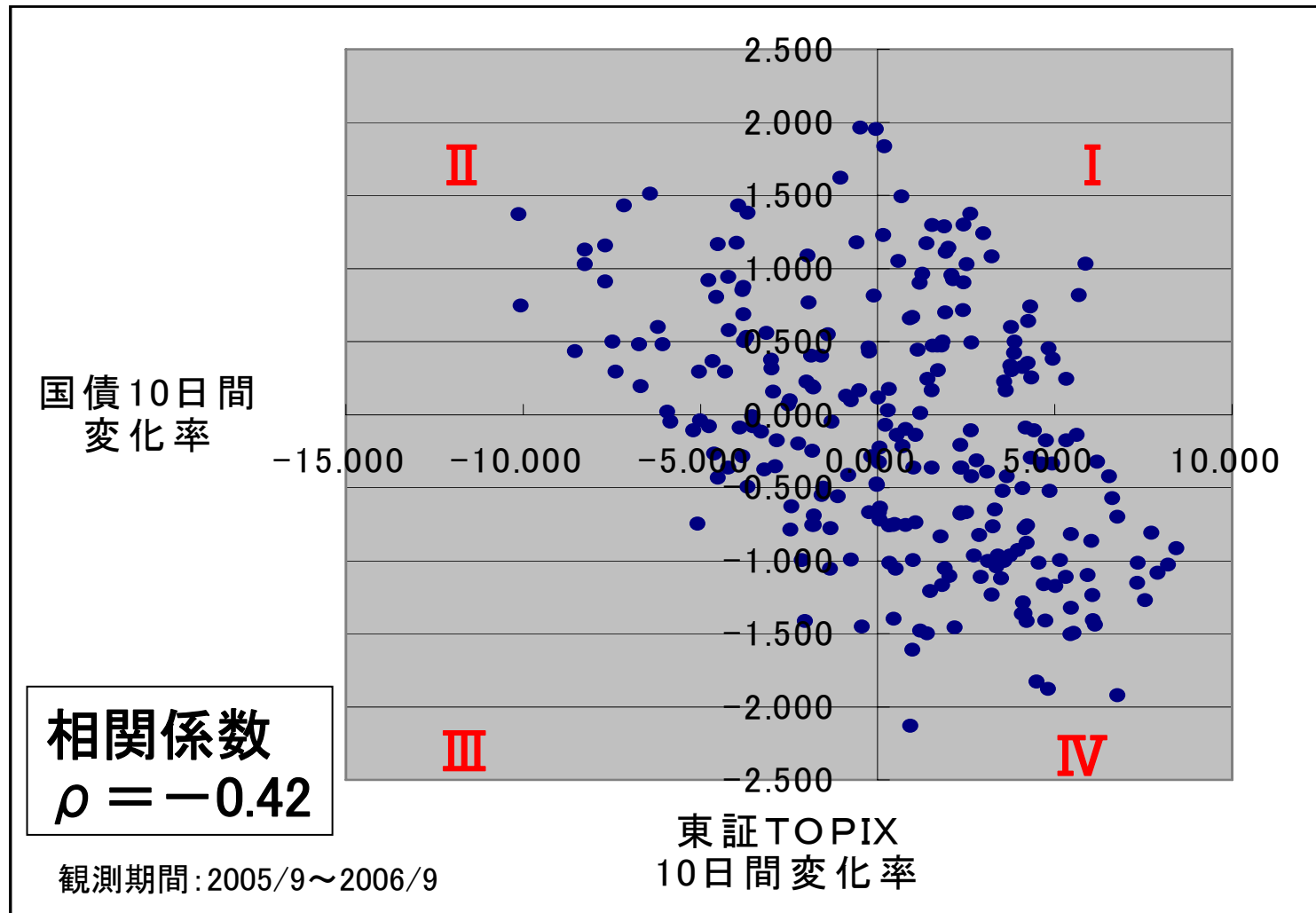


留意事項②

- ◆ ポートフォリオ価値に影響を与えるリスクファクターは複数存在する。
- ◆ リスクファクター間の「相関」がリスク総量を変化させるため、「相関」をみながらポートフォリオの残高・構成を見直すのが一般的。
 - 分散投資によるポートフォリオ価値の安定化
 - レバレッジを利かせたハイリスク・ハイリターン投資
- ◆ 代表的なリスクファクター間の「相関」の変化をフォローすることが重要。

国債価格変化率と株価変化率の相関関係

- ◆ **II、IV**のエリアに分布が多く、「負の相関」が観察される。



分散共分散法(デルタ法)の計算例

— リスクファクターが2つの場合

VaRの計算シート 分散共分散法(MW法)

【ポートフォリオ】

株式投信	100	億円
10年割引国債	100	億円

保有期間	10	日
信頼水準	99.00	%

観測データ	250	日
-------	-----	---

	東証TOPIX 10日間変化率	10年割引国債 10日間変化率
2006/9/29	0.785	-0.098
2006/9/28	1.194	0.010
2006/9/27	0.319	0.177
2006/9/26	-2.994	0.315
2006/9/25	-3.783	0.688
2006/9/22	-3.139	0.560
2006/9/21	-3.894	-0.088
2006/9/20	-5.040	0.295
2006/9/19	-3.538	-0.010
2006/9/15	-2.474	0.098
2006/9/14	-2.248	-0.197
2006/9/13	-1.822	0.187
2006/9/12	-1.875	0.403
2006/9/11	-0.235	0.433
2006/9/8	0.007	0.118
2006/9/7	-0.591	1.179
2006/9/6	0.155	1.228
2006/9/5	0.582	1.051
2006/9/4	1.534	1.296
2006/9/1	-0.495	1.964
2006/8/31	0.184	1.837

株式投信	9.00	単独VaR	3.8686	× 信頼係数	2.33	× 感応度	100
割引国債	1.99		0.8568		2.33		100

単純合算	10.99	①
相関考慮後	8.35	②

①>②:ポートフォリオ効果

投信VaR	9.00	国債VaR	1.99
-------	------	-------	------

相関行列	
1	-0.4233
-0.4233	1

9.00	投信VaR
1.99	国債VaR

行列計算(関数MMULT)

8.1560	-1.8162
--------	---------

行列計算(同)

VaR² : 69.78

VaR : 8.35

投信感応度	100.00	国債感応度	100.00
-------	--------	-------	--------

分散共分散行列	
14.96626	-1.4031
-1.4031	0.7341395

100.00	投信感応度
100.00	国債感応度

行列計算(関数MMULT)

1356.3178	-66.8938
-----------	----------

行列計算(同)

ポート分散 : 12.89 (単位調整)

ポート標準偏差 : 3.59

信頼係数 : 2.33

ポートVaR : 8.35

B. モンテカルロ・シミュレーション(MS法)

乱数を利用して、繰り返しリスクファクターの予想値を生成する。

上記リスクファクターの予想値に対応した当該資産・負債の現在価値をシミュレーションにより算出する。

シミュレーションで得られた現在価値を降順に並べて、信頼水準に相当するパーセンタイル値からVaRを求める。

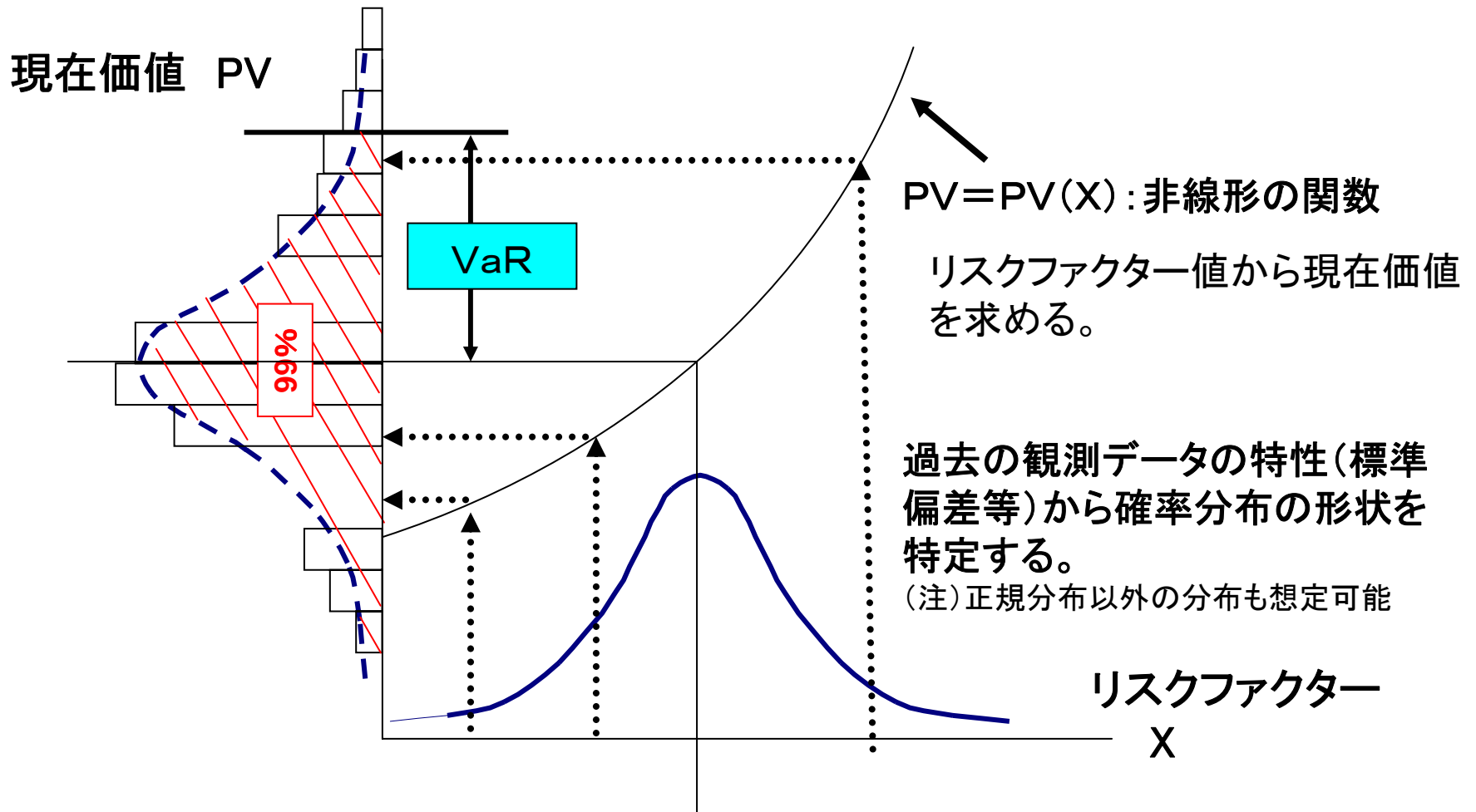
(利点)

- ・リスクファクターの確率分布について正規分布以外も想定可能。
- ・非線型リスクにも対応が可能。

(欠点)

- ・リスクファクターの分布に前提あり(モデルリスク)。
- ・複雑なモデルで大量のデータを扱うと、計算負荷が重い。

乱数を利用し、繰り返しリスクファクターの予想値を生成。
その予想値をヒストグラム化するイメージ

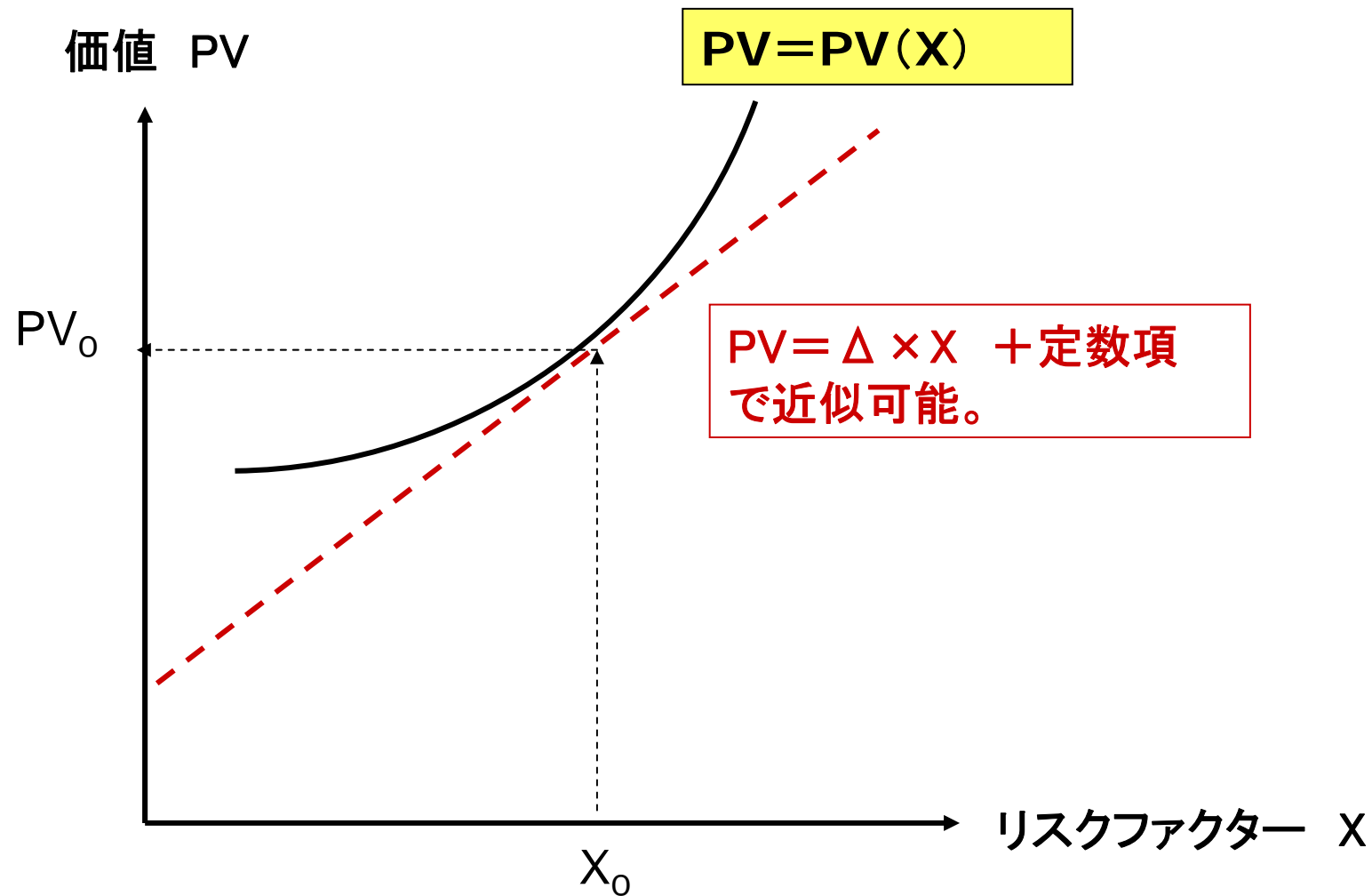


乱数を利用して、繰り返しリスクファクターの予想値を生成

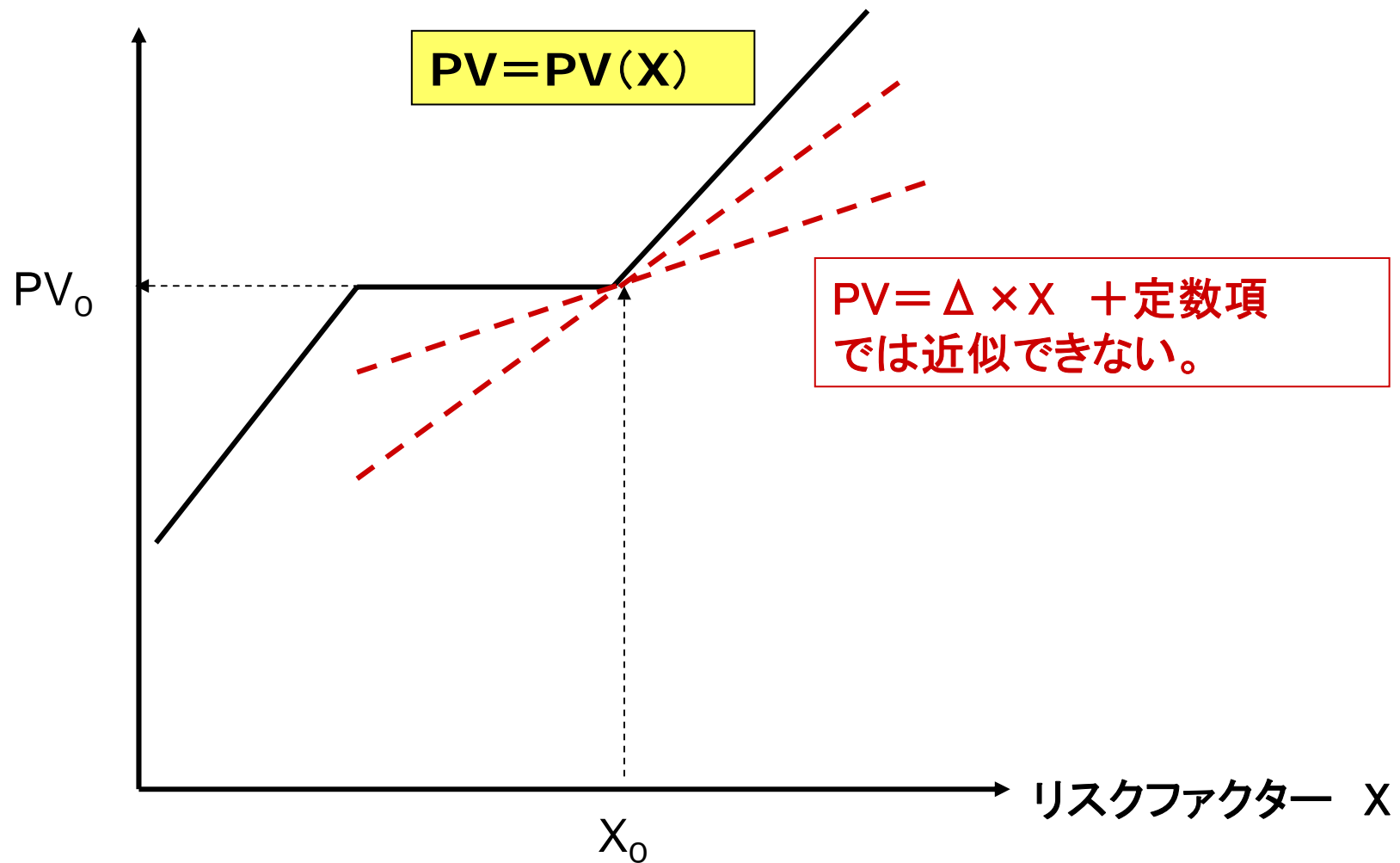
留意事項③

- ◆ 分散共分散法では、デルタ一定が前提となっている。非線形リスクが強いオプション性の商品等については、分散共分散法によるVaRの計測値では、近似精度が十分に得られないことがある。
- ◆ 非線形リスクが強い商品については、正確な価格算出モデルを利用して、モンテカルロ・シミュレーション法や後述のヒストリカル法により、VaRを計測するのが望ましい。

デルタ(Δ)一定の仮定が満たされなくても
近似精度が相応に得られ、分散共分散法を適用しても問題がないケース



デルタ(Δ)一定の仮定が満たされないため、
近似精度が殆ど得られず、分散共分散法を適用するのが適当でないケース



C. ヒストリカル法

現時点のポートフォリオ残高・構成を前提に、過去のリスクファクター値を利用して、理論価値を遡って計算する。

こうして得られた現在価値の分布を用いて信頼水準に相当するパーセンタイル値からVaRを求める。

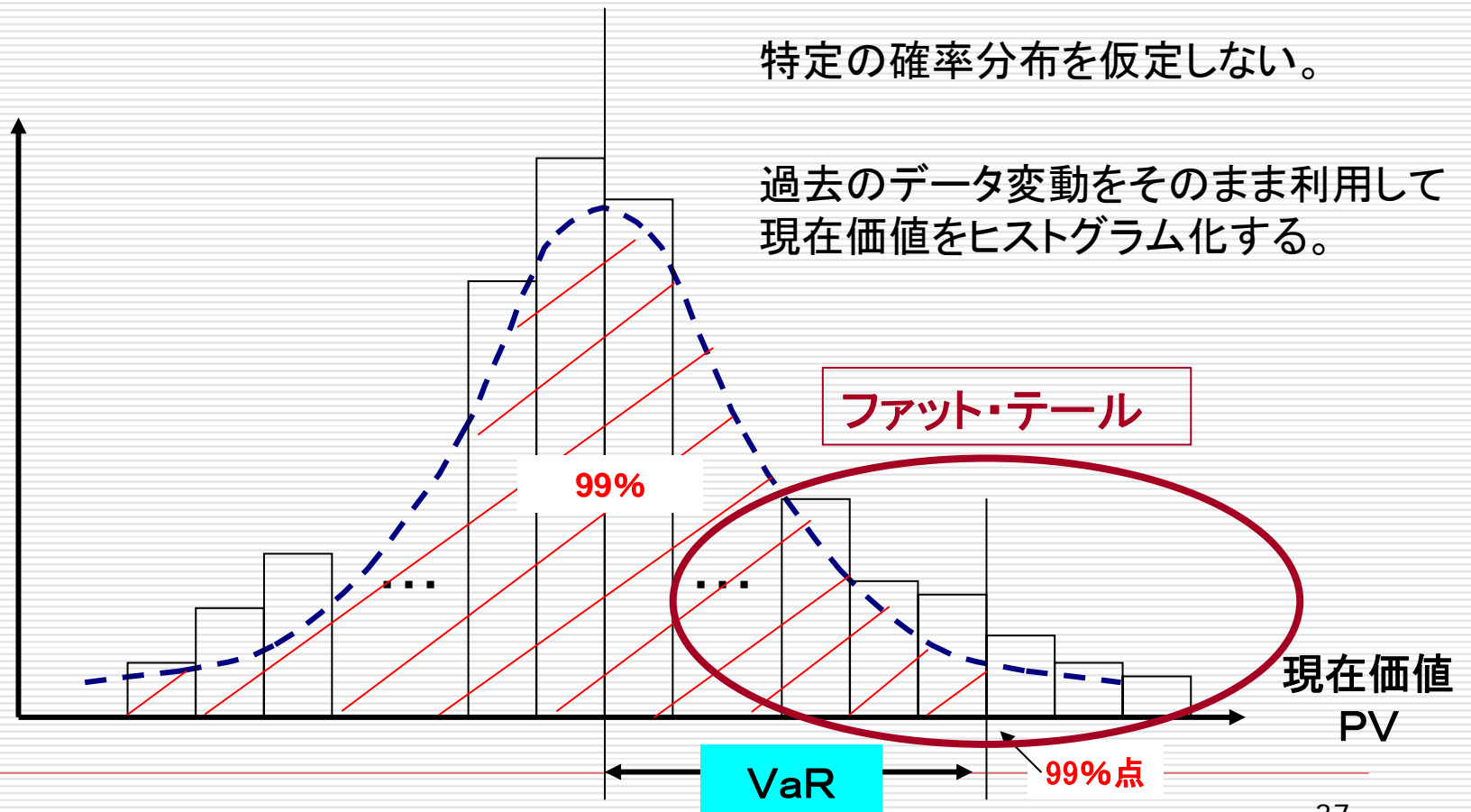
(利点)

- ・ 確率分布として特定の分布を前提にしない
- ・ 過去のデータ変動にもとづく分布を利用するため、過去のデータ変動が持つファット・テール性、非線形リスクを相応に勘案することができる。

(欠点)

- ・ 過去に起こったことしか取り扱えない。
- ・ 観測期間を短くとるとデータ数が不足し、計測結果が不安定化する。
- ・ データ数を確保するため、観測期間を長くとると、遠い過去のデータに引摺られ、直近のデータ変動が反映されにくい。

ヒストリカル法は、過去のデータ変動を利用して
そのままヒストグラムを作る(イメージ図)



留意事項④

- ◆ VaR計測モデルをブラック・ボックス化させず、リスクプロファイルに合致したVaR計測モデルを選択する必要がある。
- ◆ しかし、多大な経営資源・コストをかけて、より高度なVaR計測モデルへの乗り換えを図ることだけが経営の選択肢ではない。
- ◆ たとえば、
 - ① 現行VaRモデルの限界を踏まえて、ストレステスト、多様なシナリオ分析を強化する
 - ② リスク量の捕捉が難しい複雑なリスクプロファイルの仕組商品投資からの撤退を検討するなど、幅広い選択肢の中から検討を行うことが重要。

4. バックテストによるVaRの検証

- ◆ VaRは、過去の観測データから統計的手法を用いて計測された推定値。バックテストによる検証を要する。
- ◆ VaRの計測後、事後的にVaRを超過する損失が発生した回数を調べる。

⇒ VaR超過損失の発生が、信頼水準から想定される回数を大幅に上回っていないか。

例えば、99%の信頼水準のVaRを計測している場合は、VaRを超過する損失が発生する確率は、100回に1回と想定される。

(参考)

バーゼル銀行監督委員会の3ゾーン・アプローチ

- ◆ 信頼水準99%、保有期間10日のトレーディング損益に関するVaR計測モデルについて、250回のうち何回、VaRを超過する損失が発生したかによって、その精度を評価する。

	超過回数	評価
グリーン・ゾーン	0～4回 (2%未満)	モデルに問題がないと考えられる
イエロー・ゾーン	5～9回 (2%以上4%未満)	問題の存在が示唆されるが決定的ではない
レッド・ゾーン	10回以上 (4%以上)	まず間違いなくモデルに問題がある。

「マーケット・リスクに対する所要自己資本算出に用いる内部モデル・アプローチにおいてバックテストングを利用するための監督上のフレームワーク」、1996年1月、バーゼル銀行監督委員会

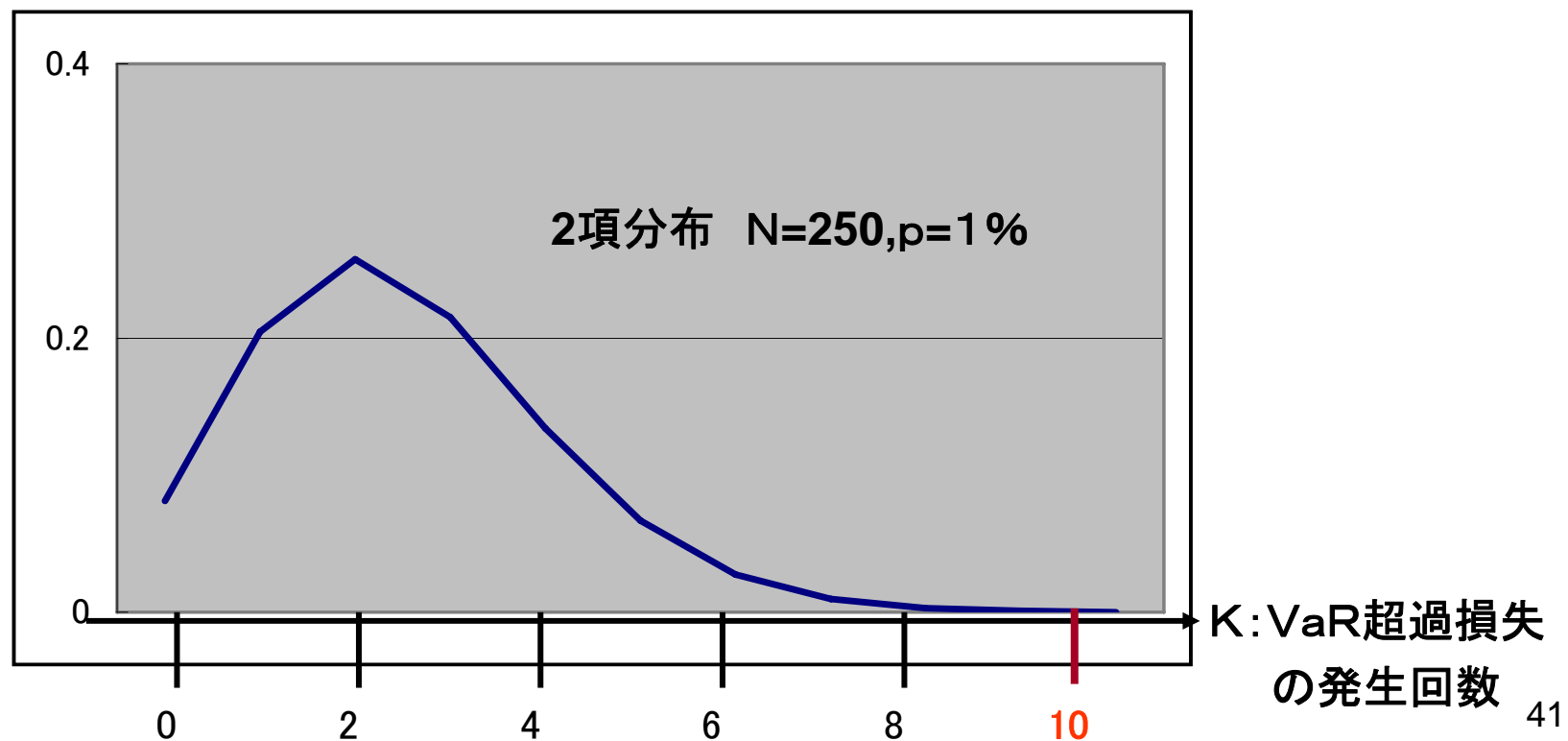
VaRを超過する損失が発生する回数(K)とその確率

VaRを超過する確率 $p = 1\%$

VaRを超過しない確率 $1-p = 99\%$ (信頼水準)

VaRの計測個数 $N=250$

$$\text{発生確率 } f(K) = {}_{250}C_K (0.01)^K (0.99)^{250-K}$$



バックテスト(2項検定)

観測データ数	250	N回
信頼水準	99%	
1-信頼水準	1%	p%

N回の観測で、K回、VaRを超過する確率

2項分布 ${}_N C_K p^K (1-p)^{N-K}$

VaR超過回数 (K回)	確率	累積 確率	VaR超過回数 (K回以上)
0	8.11%	100.00%	0回以上
1	20.47%	91.89%	1回以上
2	25.74%	71.42%	2回以上
3	21.49%	45.68%	3回以上
4	13.41%	24.19%	4回以上
5	6.66%	10.78%	5回以上
6	2.75%	4.12%	6回以上
7	0.97%	1.37%	7回以上
8	0.30%	0.40%	8回以上
9	0.08%	0.11%	9回以上
10	0.02%	0.03%	10回以上
11	0.00%	0.01%	11回以上
12	0.00%	0.00%	12回以上
13	0.00%	0.00%	13回以上
14	0.00%	0.00%	14回以上
15	0.00%	0.00%	15回以上

バックテストは「検定」の考え方にしたがって行う。

■ VaR計測モデルは正しい(帰無仮説)。



■ VaR超過損失の発生が、250回中、10回以上発生した。



■ VaR超過損失の発生が、250回中、10回以上発生する確率は0.03%と極めて低い。



■ VaR計測モデルは誤っている(結論)

バックテストの分析・活用

- ◆ バックテストにより、VaR超過損失の発生が判明したときはその原因・背景について、分析を行うのが重要。
- ◆ VaR超過損失の発生事例の分析により、
①ストレス事象の洗出しや、②VaR計測モデルの改善に繋げることができる。

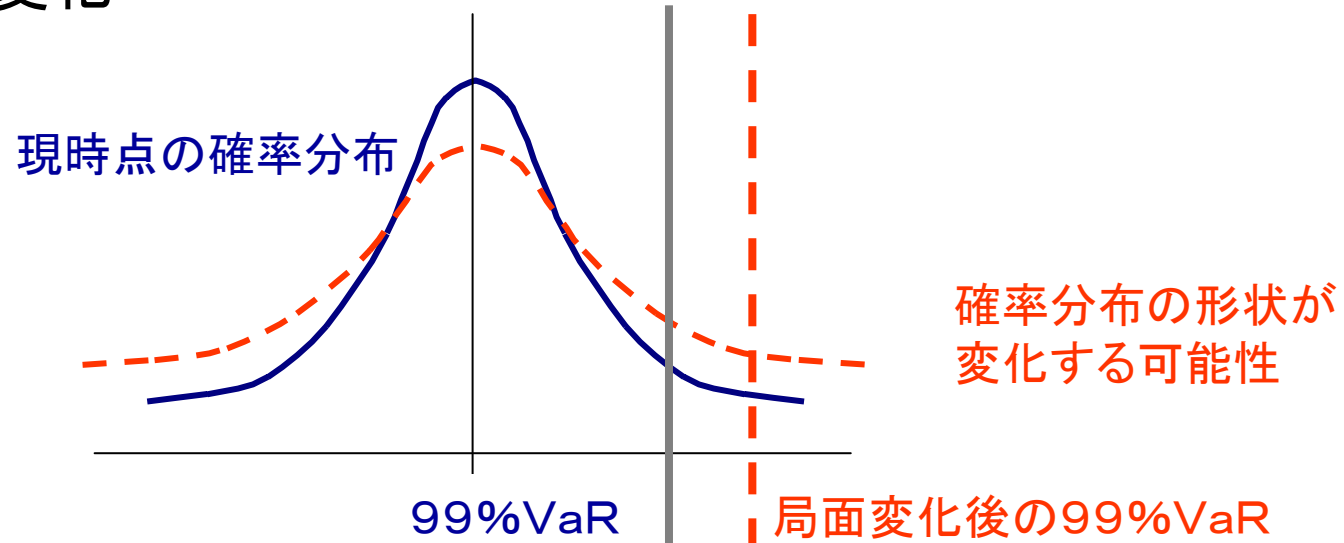
VaR超過損失の発生原因・背景

- ストレス事象の発生
- ボラティリティの変化
 - VaR計測後、ボラティリティが増大
- 確率分布モデルの問題
 - 実際の確率分布が正規分布よりもファットテイル
- トレンド、自己相関がある
 - \sqrt{T} 倍ルール*での近似に限界
 - *VaR計測で保有期間を調整する手法のこと
- 観測データ数の不足
 - 観測データが不足すると、VaRは不安定化
- 観測期間が不適切
 - 遠い過去の観測データ(ボラティリティ小)の影響

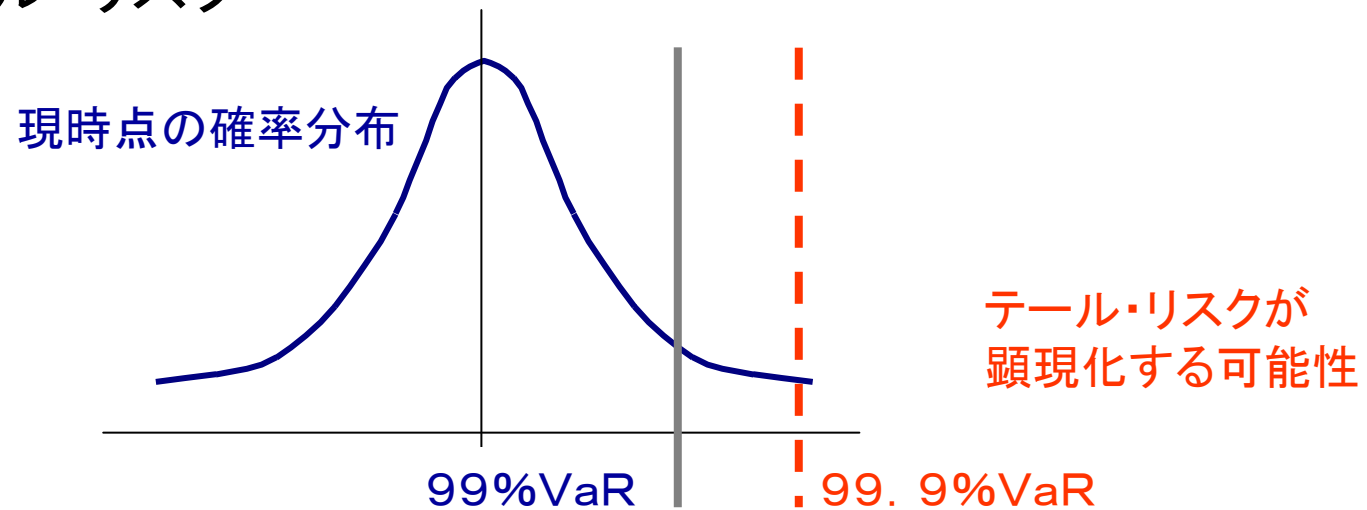
5. VaRの補完とストレステスト

- ◆ VaRは、過去の観測データにもとづき、統計的手法により計測される「推定値」に過ぎない。
 - ◆ VaRでは、観測期間に捉えきれなかったストレス事象の発生リスクに備えることができない。
 - VaR計測モデルでは、これまでにない局面変化が起きると将来の予想損失を過少評価する可能性がある。
 - 局面変化が起きなくても、信頼水準を超過するテール事象が発生する可能性がある。
- ⇒ VaRの限界を理解したうえで、VaRをリスク管理に利用することが重要

①局面変化



②テール・リスク



Backward-looking

	客観性重視	柔軟性重視
ストレスシナリオ	<p>過去のショック時の変動・損失等をそのまま利用</p> <p>(例)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ブラック・マンデー時の株価下落 ・ サブプライム問題の表面化に伴う証券化商品の下落 ・ 各リスクファクターの過去10年間の最大変動 	<p>将来のありうる変動、損失等を自由に想定</p> <p>(例)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ イールドカーブのスティーピング or フラットニング ・ 株価、為替等のボラティリティの増大
その他	<p>(例)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ より高い信頼水準(99.9%等) 	<p>(例)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 相関の非勘案(相関係数=1) ・ より裾野の長い損失分布

Forward-looking

ストレステスト実施のポイント①

- ◆ 信頼水準の引き上げ、相関の非勘案など、VaR計測の前提を厳しく置き直したり、過去の幾つかのショック時の変動を形式的に想定するだけでは不十分。
- ◆ 内外環境を十分に分析し、forward-looking に幅広いシナリオを作成して、財務面、資金流動性への影響をみるなど、リスクに備えているか？
 - 組織のリスクプロファイルの勘案
 - 環境変化の予想

ストレステスト実施のポイント②

- ◆ 組織全体でストレス事象に関する認識を共有しているか？
- ◆ 経営陣、フロント部署、リスク管理部署によるリスク・コミュニケーションは十分か？
 - ・ 経営陣の懸念事項を反映する
 - ・ フロントの定性情報を活用する
 - ・ リバース・ストレステストを実施する
 - ・ 提示シナリオを工夫する

ストレステスト実施のポイント③

- ◆ ストレステストを組織の意思決定に活用しているか？
- ◆ さまざまな視点から多様なシナリオを想定し、いざというときに備えて、予め対応策を協議・検討しておくことが重要。
 - ・アラームポイントの設定
 - ・リスク削減の優先順位、実行手順の検討
 - ・資本増強の必要性、実行のタイミングの検討
 - ・資金流動性の確保方法・実行手順の検討

ストレステスト実施のポイント④

- ◆ 組織全体でストレステストの結果を共有しているか？
 - 関係者のリスク意識を高める
 - 予兆管理に役立てる

- 本資料に関する照会先

日本銀行金融機構局金融高度化センター

企画役 碓井 茂樹

Tel 03(3277)1886 E-mail shigeki.usui@boj.or.jp

- 本資料の内容について、商用目的での転載・複製を行う場合は予め日本銀行金融機構局金融高度化センターまでご相談ください。転載・複製を行う場合は、出所を明記してください。
- 本資料に掲載されている情報の正確性については万全を期しておりますが、日本銀行は、利用者が本資料の情報を用いて行う一切の行為について、何ら責任を負うものではありません。