

# エネルギーセキュリティの評価指標について

平成26年12月25日

資源エネルギー庁

資源・燃料部

## 1-1. 分析の趣旨

- 化石燃料供給の大半を輸入に依存する我が国にとって、安定的な燃料調達は我が国のエネルギー安全保障上は極めて重要な課題。
- 一方で、化石燃料輸入の主要な調達先である中東や輸送経路であるアジアの一部では引き続き様々なリスクが存在する状況にあり、また、シェール革命・ウクライナ問題を契機とした欧露関係や中露関係変化等、世界レベルでのエネルギー需給構造は変化しつつある。
- こうした状況の中で、調達安定性を高める手法として、燃料調達先の多様化、多角化が有益であるが、我が国のエネルギー安全保障の程度について定量的に評価するためのツールがあれば、政策担当者にとって政策採用の際、あるいはエネルギーセキュリティの状況を把握する際に有益である。
- このため、燃料種や調達先の分散の程度等を反映した評価指標(セキュリティ・インデックス)を策定し、現状でのセキュリティの程度を他国と比較しつつ試算する。

(参考)資源・燃料分科会石油天然ガス小委員会報告書(平成26年7月23日)抜粋

『燃料種や地政学的な調達先の分散、各需要部門でのエネルギー利用の多様化の程度により、我が国のエネルギー需給構造の多層性、全体的な安定性の度合いを定量的に評価できるような評価軸・フォーミュラをツールとして用意しておけば、エネルギーを取り巻く環境が様々な変化しても、それがエネルギーの安定供給にどのような影響を与えるのか、またどのような政策がエネルギーセキュリティをどの程度高めるのかを評価する際の1つの参考指標として活用できる。』

# 1-1. 評価の前提

## 【エネルギーセキュリティとは】

供給量に影響する偶発的・突発的なリスクに対し安定的な燃料調達ができているかの実現度合。

## 【評価すべき内容】

どの程度安定的に燃料が供給できる環境が整っているかの度合。

## 【指標とする変数】

(1) 各エネルギー種の供給国の抱えるリスク : 供給国のリスクについては①供給国の過去の供給実績、②供給国の紛争頻度、③輸送ルート(シーレーン)の途絶リスク(※)などの観点から評価

### ①供給国の過去の供給実績

(どれくらい安定した量を継続的に供給しているか)

### ②供給国の紛争頻度

(過去にどのくらいの頻度で紛争が起きているか)

### ③輸送ルートの途絶リスク(※)

(輸送上紛争等の起こりやすいポイント(ホルムズ海峡等)をどのくらい経由するか)

※) 需要国側からみた場合の調達リスクに反映

(2) 調達国の各エネルギー種の供給国構成 : 各エネルギー種の供給国構成割合の評価

Ex. 日本の石油の供給国割合は、中東諸国83%、ロシア7%、インドネシア3%、その他7%(2013年) 等

(3) 調達国の1次エネルギー全体の構成 : 1次エネルギー全体に占めるエネルギー種構成割合の評価

Ex. 日本の1次エネルギー構成割合は、石油45.8%、石炭24.1%、天然ガス22.6%、原子力0.4%、再生可能エネルギー7.2% (エネルギーバランス表2013年速報)

## 【留意点】

- ・まずは1次エネルギー(燃料)の調達段階におけるエネルギーセキュリティの評価を行う。
- ・今後のテーマとして制約条件の中でエネルギー供給の最適化・感応度に関する分析を実施する。
- ・原子力、再生可能エネルギーについては国産エネルギーと仮定する。

# 【参考】我が国の化石燃料に関するポートフォリオ

- 調達段階ではエネルギー全体に対する石油割合の高さと、石油、LPガスの中東依存度の高さが確認できる。一方、天然ガス、石炭は、東南アジア、豪州等への依存度が高いが、地政学リスクは低い。
- 燃料利用段階では産業・運輸部門における石油に対する依存度の高さが確認できる。また、業務、家庭部門では電化率の高さが見られる。

燃料調達段階での分散(2011年度)

← 燃料種の分散 →

	石油 (100%)	LP ガス (100%)	天然 ガス (100%)	石炭 (100%)	
地政学 リスク 大	1次 エネルギー	40%	3%	22%	23%
調達国の分散	中東	35% (87%)	2% (83%)	7% (30%)	—
	アフリカ	1% (2%)	0% (1%)	2% (7%)	—
	ロシア	2% (4%)	—	2% (9%)	2% (7%)
	東南アジア オセアニア	3% (7%)	0% (10%)	11% (51%)	19% (81%)
	北米	—	0% (1%)	—	2% (9%)
地政学 リスク 小					

燃料利用段階での分散(2011年度)

← エネルギー種の分散 →

	全体	石油	LP ガス	天然 ガス	石炭	電力	
最終 エネルギー 消費	100%	45%	5%	11%	11%	23%	
利用部門	産業 (100%)	43%	14% (34%)	2% (5%)	2% (5%)	9% (22%)	7% (17%)
	業務 (100%)	20%	4% (22%)	1% (5%)	5% (28%)	0% (1%)	9% (44%)
	運輸 (100%)	23%	22% (95%)	0% (2%)	0% (0%)	—	0% (2%)
	家庭 (100%)	14%	3% (18%)	1% (10%)	3% (21%)	—	7% (51%)

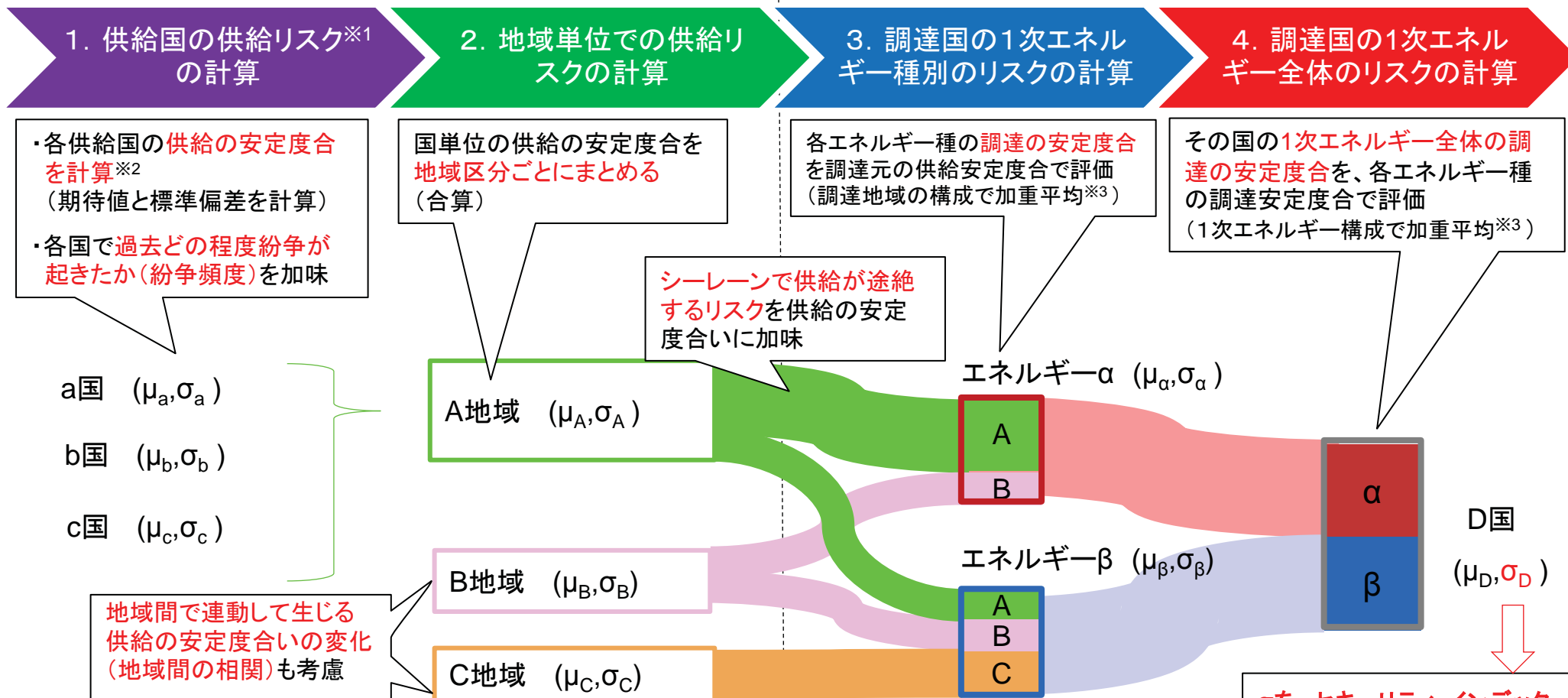
注:エネルギー白書2013のデータ(2011年度分)から作成。四捨五入、化石燃料以外のエネルギー省略等の関係から必ずしも和が100%にならない。

# 1-3. 分析のプロセス

- 各国・各地域からの燃料種ごとの「平均的に供給が期待できる程度(期待値  $\mu$ )」と「供給の変動の程度(標準偏差  $\sigma$ )」に着目し、それが調達国の1次エネルギーの全体の「供給の変動の程度(標準偏差)」に与える影響を評価指標(セキュリティ・インデックス)とする。
- この数値(標準偏差  $\sigma$ )が小さいと、安定性が高い(≒供給量が減少する確率が低い)と考えられる。

## 供給の安定度合いの計算

## 調達の安定度合いの計算



※1 供給リスクとは、国別および地域別の供給率の期待値と標準偏差を示す。

※2 供給率については、原油の供給率を採用し、1次エネルギー種別に関係なく同一国から供給されるものは同一の数値として扱う。

ex. a国から供給される原油と天然ガスの供給率は同じ数値である。

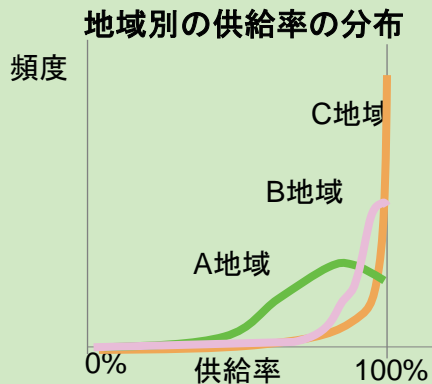
※3 分散を加味した加重平均であり、偏りが少ないほど $\sigma$ が小さい値となるよう反映される(次頁参照)。

# 1-4. (参考) 計算方法

■ セキュリティ・インデックスの考え方を数式化すると、以下のとおりとなる。

## 1. 供給国の供給リスクの計算

- 供給国の過去実績の原油供給率の分布を、期待値と標準偏差 ( $\mu_i, \sigma_i$ ) で表現する
- 各地域間のリスクの相互関係の程度を、相関係数  $\rho_{ij}$  で表現する



## 2. 地域単位での供給リスクの計算

## 3. 調達国の1次エネルギー種別のリスクの計算

- 1次エネルギー  $x$  の、調達地域  $i$  ( $1 \dots n$ ) の構成比を  $r_{x,i}$  とする
- 各1次エネルギーの供給率の分布の期待値・標準偏差や、1次エネルギー間の相関係数は、確率に関する公式から算出される

期待値	$\mu_x = \sum_{i=1}^n \mu_i r_{x,i}$
標準偏差	$\sigma_x = \left( \sum_{i=1}^n \sigma_i^2 r_{x,i}^2 + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, i \neq j}^n \sigma_{ij} r_{x,i} r_{x,j} \right)^{1/2}$
相関係数	$\rho_{xy} = \left( \sum_{i=1}^n (\sigma_i^2 + \mu_i^2) r_{x,i} r_{y,i} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, i \neq j}^n (\sigma_{ij} + \mu_i \mu_j) r_{x,i} r_{y,j} \right) / \sigma_x \sigma_y$

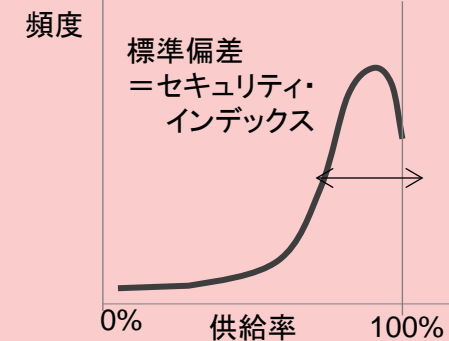
次の段階へ適用

## 4. 調達国の1次エネルギー全体のリスクの計算

- 1次エネルギー  $x$  ( $1 \dots m$ ) の構成比を  $r_x$  とする
- 1次エネルギー全体の供給率の分布の期待値・標準偏差は、確率に関する公式から算出される

期待値	$\mu = \sum_{x=1}^m \mu_x r_x$
標準偏差	$\sigma = \left( \sum_{x=1}^m \sigma_x^2 r_x^2 + \sum_{x=1}^m \sum_{y=1, x \neq y}^m \sigma_{xy} r_x r_y \right)^{1/2}$

### 1次エネルギーの供給率の分布

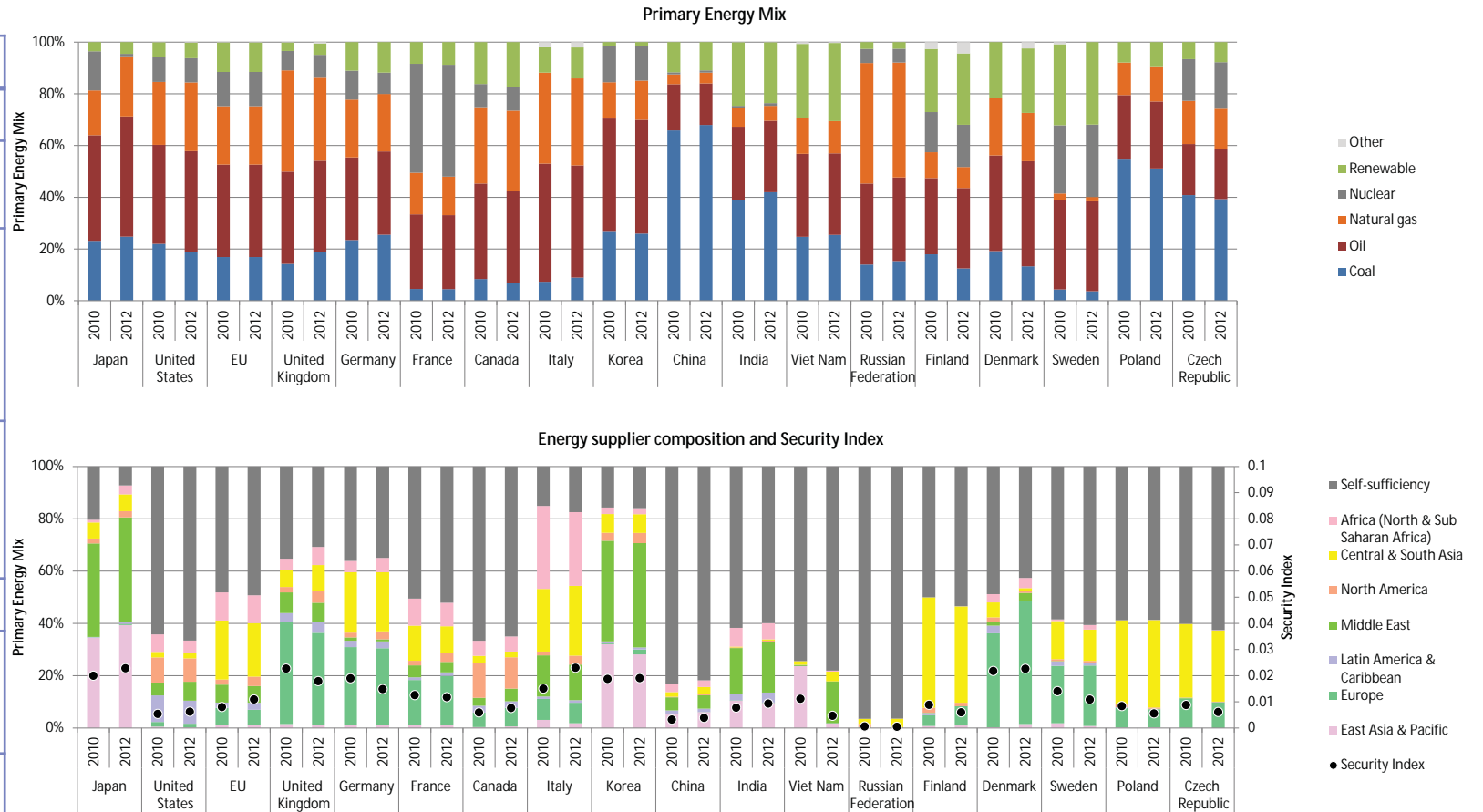


※ 複雑な想定を置かなければ、確率に関する公式を用いて、段階的に「平均的な供給率(期待値  $\mu$ )」・「供給の変動の程度(標準偏差  $\sigma$ )」が算出可能。  
 ※ シミュレーションを用いることにより、複雑な想定においても供給率の分布を作成することができる。

# 2-1. 評価対象国

- 18か国・地域のエネルギーセキュリティを定量的に評価する。
- 評価対象国の2010年・2012年の一次エネルギー構成、エネルギー調達元は以下のとおりである。

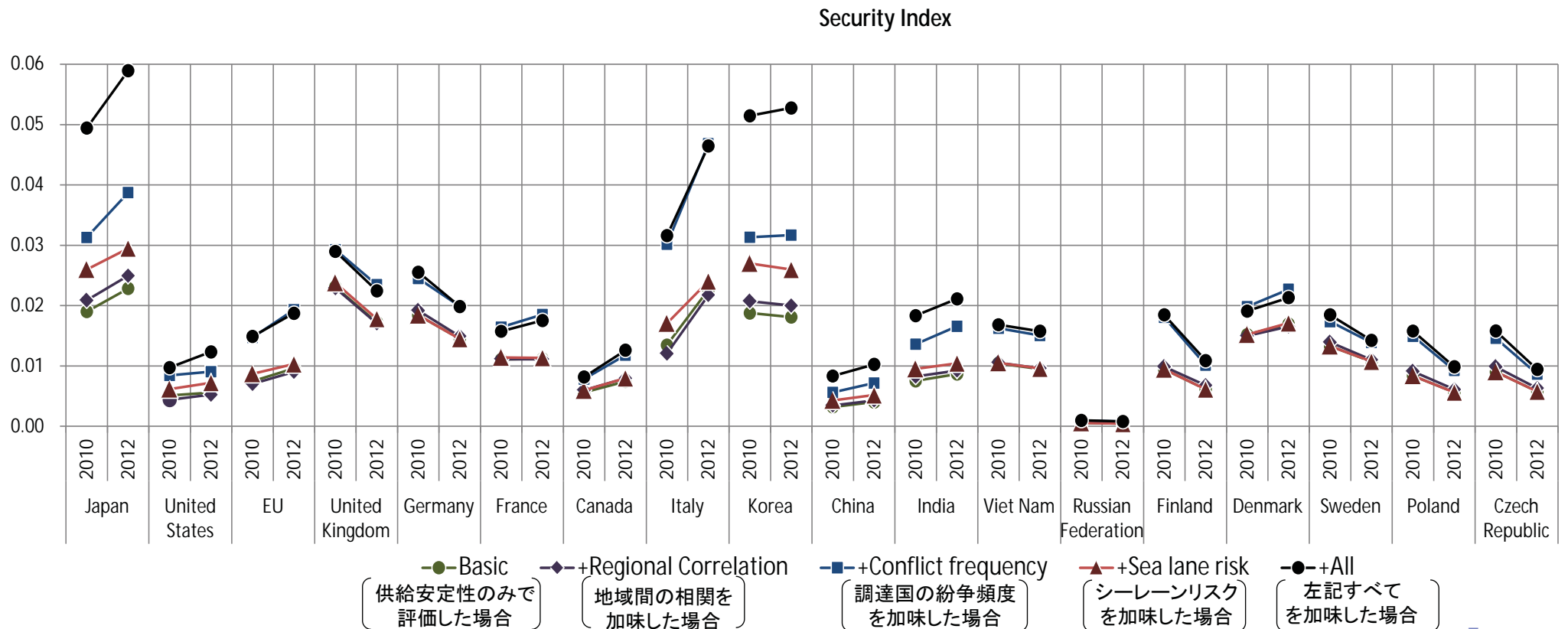
評価対象とする調達国	
日本	日本
北米	米国 カナダ
欧州	EU 英国 ドイツ フランス イタリア
アジア	中国 韓国 インド ベトナム
ロシア	ロシア
北欧	フィンランド デンマーク スウェーデン
東欧	ポーランド チェコ



データ出典) International Trade Center (UNCTAD/WTO) 統計, EC統計, Eurostat, IEA Energy Balances of OECD Countries / Energy Balances of Non-OECD Countries, IEA Natural Gas Information, IEA Coal Information

## 2-2. 紛争頻度・シーレーンリスクを入れた場合の計算結果

- 各国の2010年・2012年の1次エネルギー構成と、短期的な国別のリスク評価結果（地域間のリスクの相関、紛争頻度、シーレーンリスクの考慮）から、評価対象国のエネルギー安全保障度指標を計算し、各結果を比較した。
  - 地域間のリスクの相関の考慮は、プラスにもマイナスにも影響を与える。
  - 紛争頻度の考慮は、紛争頻度が大きい地域（特にアフリカ、中東）からの輸入比率が高い国（日本、韓国、イタリア）の評価に影響を与える。
  - シーレーンリスクの考慮は、主要エネルギー産出国から地理的に離れたエネルギー輸入国（日本、韓国）の評価に影響を与える。





## 3-1. 計算結果のインプリケーション

- エネルギー供給におけるリスクを、供給の変化の程度(供給率分布の標準偏差)の概念で表現し、国としてのエネルギー安全保障度指標として試算。
- エネルギー供給におけるリスクを、原油生産量の実績、地域間のリスクの相関、紛争頻度やシーレーン通過によるリスク補正の組み合わせによって考慮したが、各方法の特徴や、リスク評価値に与える影響は例えば以下のとおり。
  - 原油生産量の実績: 入手容易なデータから、客観的に供給率の状況を把握することができる。しかし、不慮の生産量低下と経済状況の変化や生産調整による生産量変化が区分できていない。
  - 地域間のリスクの相関の考慮は、プラスにもマイナスにも影響を与えた。紛争頻度やシーレーン通過によるリスク補正よりも影響は相対的に小さかった。
  - 紛争頻度: 紛争の実績をもとに、1~3倍の5段階で各国のリスクを補正を行った。この結果、紛争頻度が大きい地域(特にアフリカ、中東)からの輸入比率が高い国(日本、韓国、イタリア)の評価に影響を与えた。
  - シーレーン通過による補正: シーレーン通過回数によって、1~3倍の5段階で各国のリスクを補正を行った。主要エネルギー産出国から地理的に離れたエネルギー輸入国(日本、韓国)の評価に影響を与えた。
- 各国の特徴及び日本にとってのインプリケーションは例えば以下のとおりである。
  - 日本のエネルギーセキュリティは、**自給率の低さ、輸入エネルギーの中東依存度の高さ、極東の島国であることによる地理的条件の不利から**、世界の主要国と比較しても**低いレベル**にある。
  - **震災後の原子力発電の稼働停止により**、エネルギーセキュリティの**レベルはさらに悪化**した。
  - **リスクの低い地域(例えば北米や豪州)からのエネルギー輸入は**、シーレーン通過を回避するという点からも、**エネルギーセキュリティの向上に寄与するもの**と考えられる。

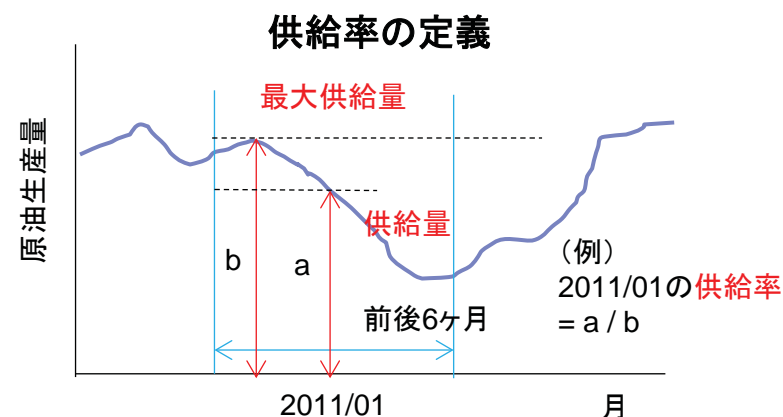
# 付録

# (1) 各供給国の供給率(供給安定性)の計算方法

- エネルギー供給においてリスクが高い国は、過去の原油生産実績が変動しているものと考えられる。
- 過去の国別・月別の原油生産量実績データから、「最大供給量」を当該月の前後6カ月(計13か月)の最大と定義し、各月の供給率(=供給量/最大供給量)を計算する。
- この「供給率」の、期待値と標準偏差が、当該資源生産国のリスクを表していると解釈する。
- 国別の供給率の期待値・標準偏差を、地域ごとに加重平均(国別原油輸出量にて加重)した「地域別の供給率」の期待値・標準偏差を、当該地域の基本の供給リスクとする。

## 原油生産量実績

データ出典	DOE EIA International Energy Statistics
種類	原油生産量
データ使用期間	1994年1月～2014年7月 (長期のリスク) 2011年1月～2014年7月 (直近の短期的なリスク) 2006年1月～2010年12月 (2010年ごろの短期的なリスク)

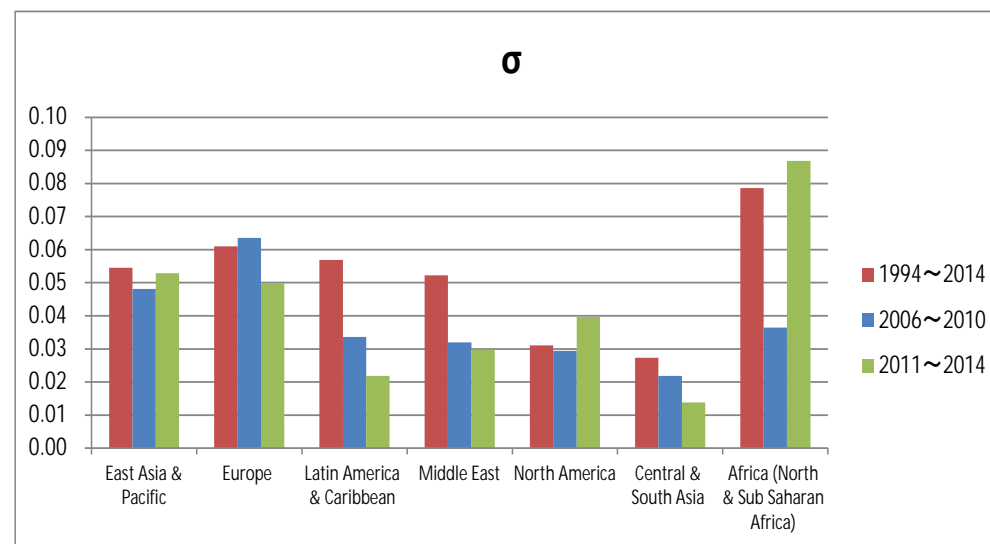
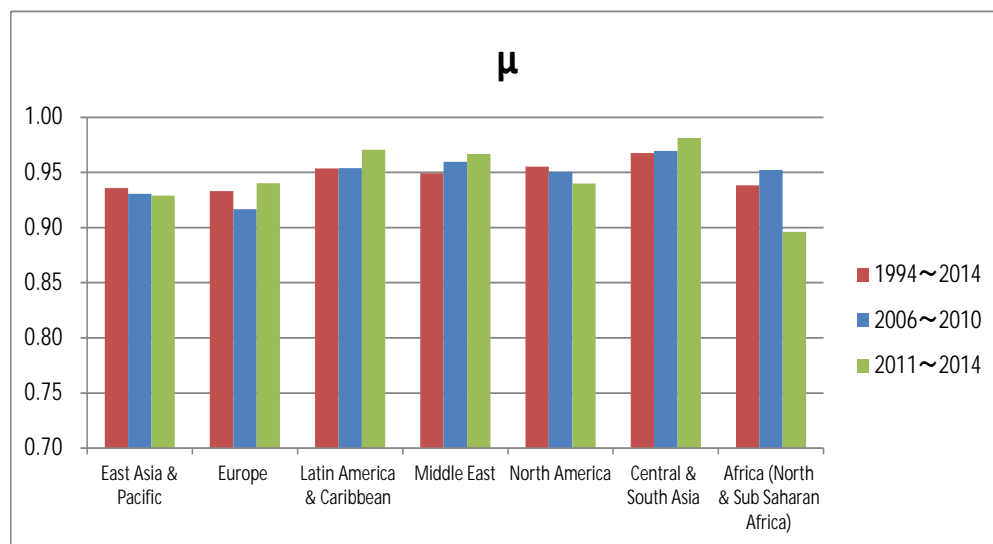


## 基本の地域別供給リスク評価結果

	長期のリスク		直近の短期的なリスク		2010年ごろの短期的なリスク	
	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$	$\mu$	$\sigma$
East Asia & Pacific	0.936	0.055	0.929	0.053	0.931	0.048
Europe	0.933	0.061	0.940	0.050	0.917	0.064
Latin America & Caribbean	0.954	0.057	0.971	0.022	0.954	0.034
Middle East	0.949	0.052	0.967	0.030	0.960	0.032
North America	0.955	0.031	0.940	0.040	0.951	0.029
Central & South Asia	0.968	0.027	0.981	0.014	0.970	0.022
Africa (North & Sub Saharan Africa)	0.938	0.079	0.896	0.087	0.952	0.036

# (1) 各供給国の供給率(供給安定性)の計算方法(参考)

- 基本の地域別供給リスク評価結果(期待値  $\mu$ 、標準偏差  $\sigma$ )は以下のとおり。
- 期待値は小さいほど、標準偏差は大きいほど、平均供給率が低く供給率の変動が大きい、すなわち供給におけるリスクが大きいことを示している。

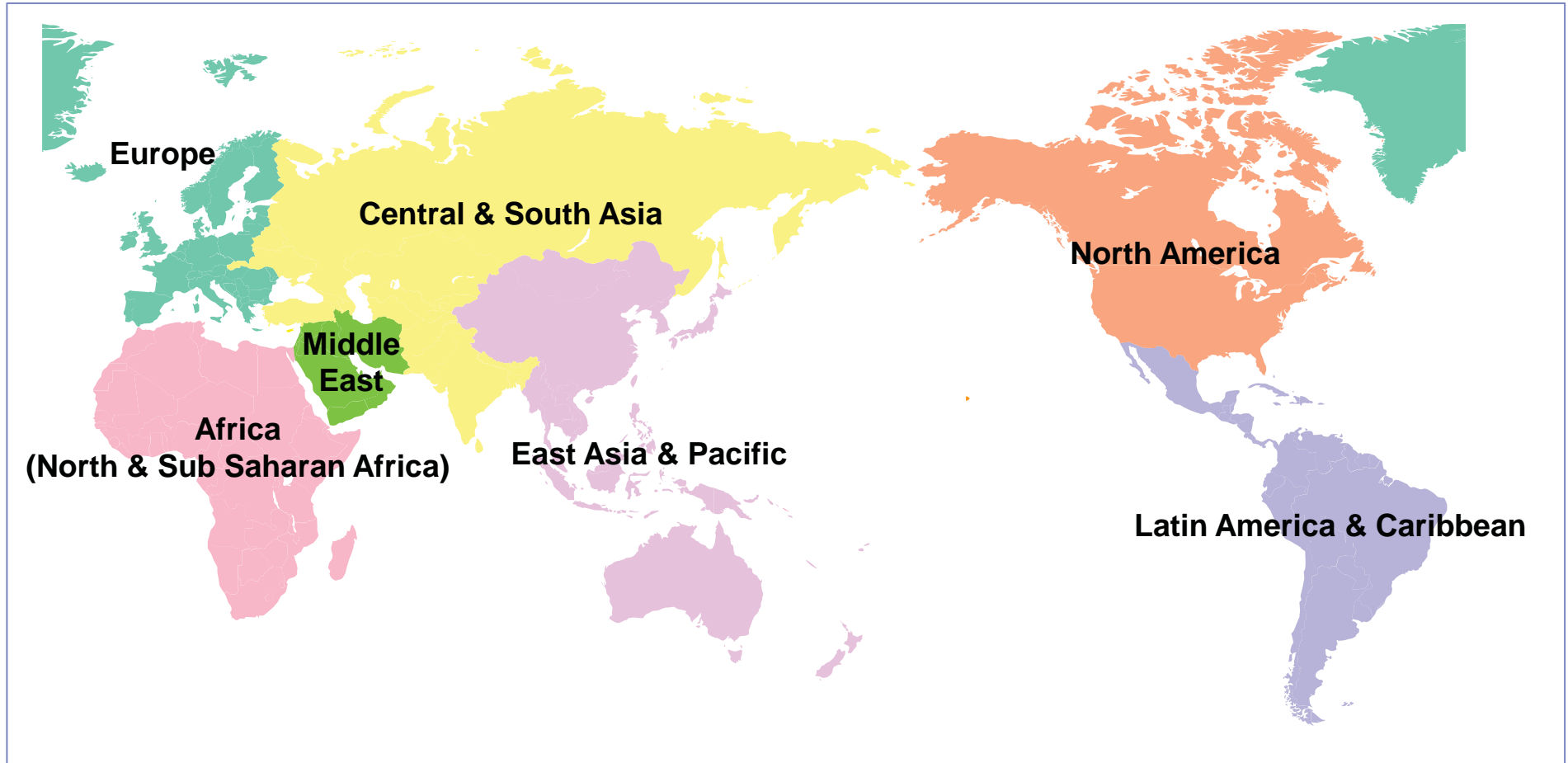


- 期待値  $\mu$  が大きい地域では標準偏差  $\sigma$  が小さい傾向にある。
- Africaにおいて、2006~2010年から2011年~2014年にかけて、評価が大きく悪化している。北アフリカにおける民主化運動に伴う原油生産の激減などを反映しているものと考えられる。
- 2011~2014年の評価結果は、Africa, East Asia & Pacific, Europeの順番にリスクが高いことを示している。

※ Europeの低評価は、生産調整、景気変動などの要素が影響している可能性も考えられる。

# (1) 各供給国の供給率(供給安定性)の計算方法(参考)

- 調達元は、世界を7地域区分に区切って評価する。



## (2) 地域間のリスクの相関

- 地域間においても、共にOPEC加盟国を含む、宗教が共通する、などの理由により、**エネルギー供給のリスク顕在化が連動すること**も考えられる。
- 前述の「国別の供給率」を国別原油輸出量で加重平均した2006年～2014年の「地域別の供給率」を用いて、地域間の供給率の相関係数を算出した。
- この相関係数が、地域間のリスクの相関を表していると考え、計算に加味する。

### 地域間の相関の評価結果

2006～2014年の リスクの相関	East Asia & Pacific	Europe	Latin America & Caribbean	Middle East	North America	Central & South Asia	Africa (North & Sub Saharan Africa)
East Asia & Pacific		0.062	-0.052	0.137	0.304	0.053	0.157
Europe	0.062		-0.132	-0.240	0.296	0.266	-0.055
Latin America & Caribbean	-0.052	-0.132		0.415	-0.331	-0.119	-0.463
Middle East	0.137	-0.240	0.415		-0.090	0.010	-0.176
North America	0.304	0.296	-0.331	-0.090		0.077	0.207
Central & South Asia	0.053	0.266	-0.119	0.010	0.077		-0.185
Africa (North & Sub Saharan Africa)	0.157	-0.055	-0.463	-0.176	0.207	-0.185	

- Middle East とLatin America & Caribbeanには、正の相関がある。OPEC加盟国を多く含むため、原油生産の行動が類似しているためと考えられる。
- AfricaとLatin America & Caribbean、North AmericaとLatin America & Caribbeanには、負の相関がある。これらの地域間に調達国を分散させることは、調達リスクの低減につながる。

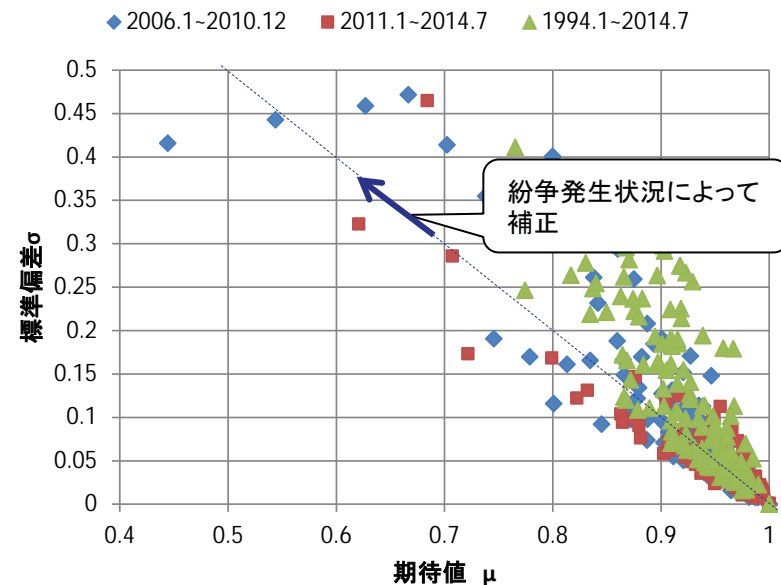
### (3) 紛争頻度の評価

- 上述の過去の実績から作成した供給率は、紛争、生産調整、景気変動など多様な要因を含んだ数値となっているものと考えられるが、このうち**エネルギーセキュリティ上重要であるのは紛争等による供給途絶**である。
- このため、ここでは以下の紛争実績のデータベースを元に、紛争の多発国においては、基本の供給リスクを調整することにより、紛争によるリスクに重みづけをした評価を行う。

#### <UCDP/PRIO Armed Conflict Datasetに基づく補正>

- スウェーデンのUppsala大学の作成する、全世界における紛争の発生状況を整理したデータベースを引用。
- 世界各国で25人以上の死者が生じた紛争を年毎に整理。
- ここでは、データベースに整理された情報のうち、各紛争の激しさの度合いである”Intensity”の指標の1970~2013年の期間の総和を各国の紛争頻度として評価値(C)として設定。
  - Intensityの指標は死者数により2区分  
(1000人未満=1、1000人以上=2)
- その上で、評価値に基づいて各国を以下のとおり5レベルで評価し、評価レベルに応じて標準偏差 $\sigma$ 、期待値 $\mu$ に対して補正を加えた。

#### 基本の供給リスク評価結果(国別)とその補正

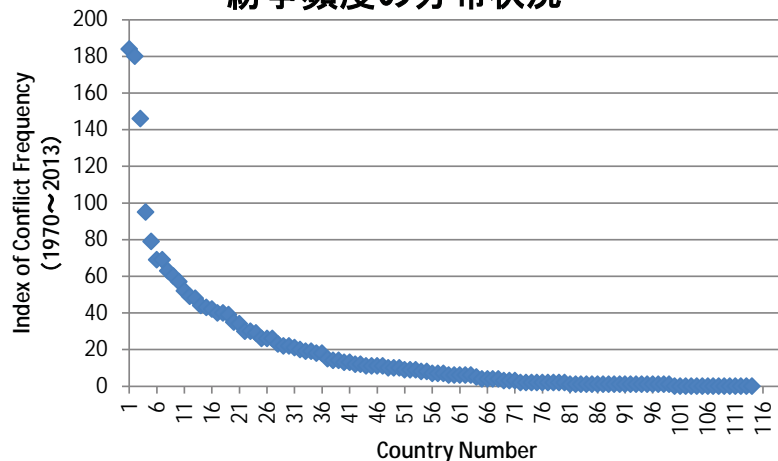


	紛争頻度の評価値(C)	標準偏差 $\sigma$ への補正	期待値 $\mu$ への補正
レベル I	C=0	1倍	$\Delta\mu = -\Delta\sigma$ となるように補正
レベル II	$0 \leq \log_{10}(C) \leq 0.5$	1.5倍	
レベル III	$0.5 < \log_{10}(C) \leq 1.0$	2倍	
レベル IV	$1.0 < \log_{10}(C) \leq 1.5$	2.5倍	
レベル V	$1.5 < \log_{10}(C)$	3倍	

### (3) 紛争頻度の評価(参考)

- 前述の考え方に基づく1970～2013年の紛争指標は、国によって0～184まで分布している。
- 紛争頻度の対数を概ね等分する形で、各国を5段階にレベル分けを行った。

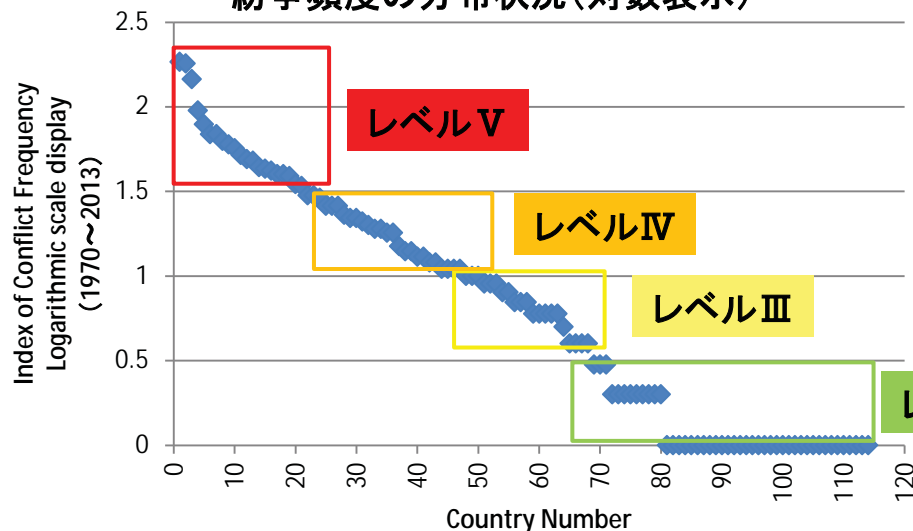
紛争頻度の分布状況



各紛争頻度レベルの主な国

	国の例
レベル I	Australia, Brazil, Canada, Qatar, UAE, United States
レベル II	Mexico, Saudi Arabia, Venezuela
レベル III	Argentina, Kuwait, Libya, Niger, Oman
レベル IV	Algeria, Azerbaijan, China, Morocco, Russian Federation
レベル V	Angora, Colombia, Ethiopia, India, Indonesia, Iraq, Iran, Pakistan, Sudan, Turkey

紛争頻度の分布状況(対数表示)



※レベル I は紛争が0回の国

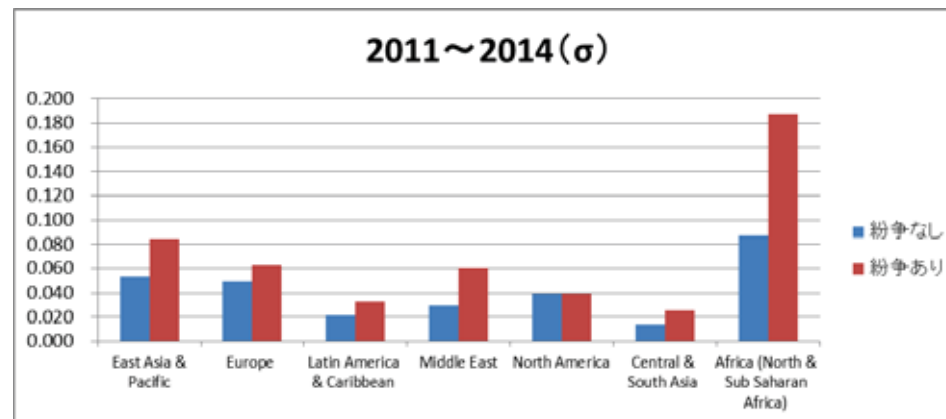
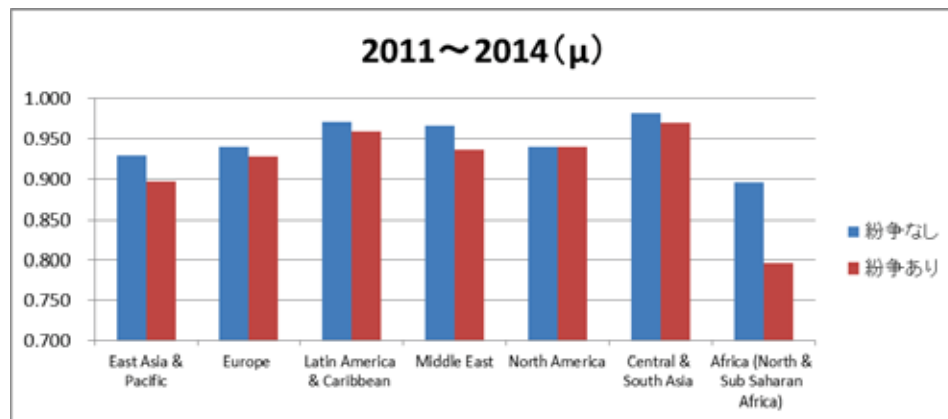
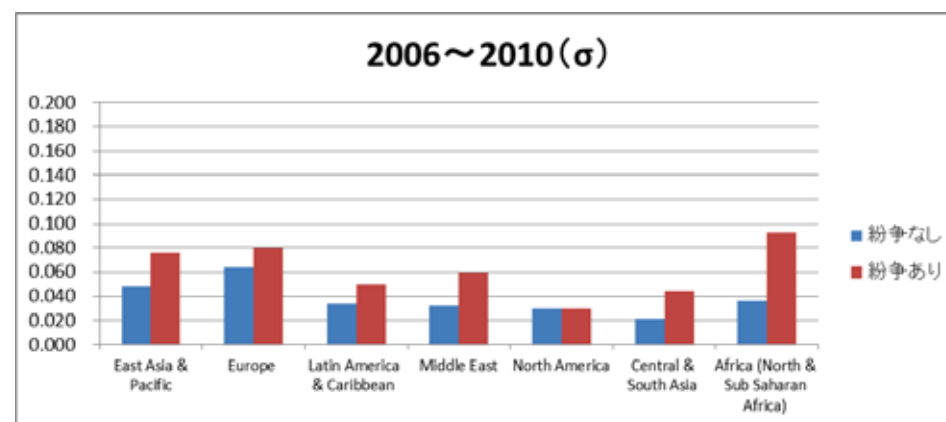
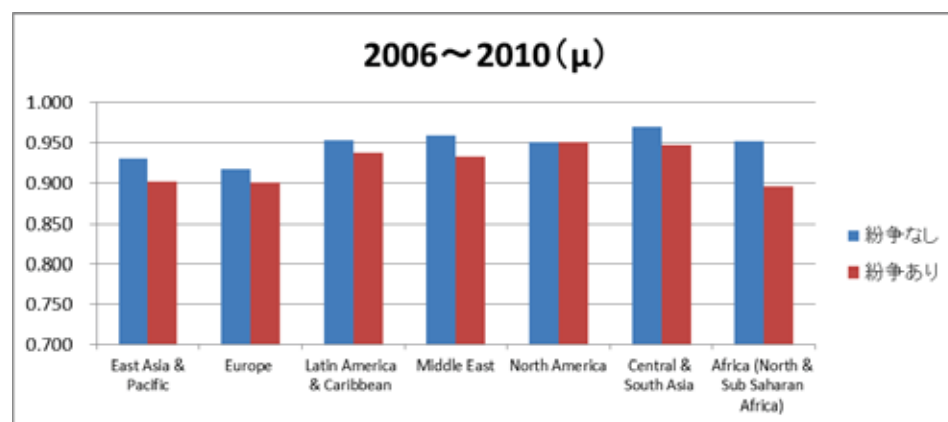
- アンゴラ、イラン、イラクなど中東・アフリカの産油国の評価が低い。その他、アジア、旧ソ連などに比較的评价が低い国がある。
- 同じ中東でも、カタール、サウジアラビアなどの評価は高い。



### (3) 紛争頻度の評価(参考)

- 紛争考慮後の地域別供給リスク評価結果(期待値  $\mu$ 、標準偏差  $\sigma$ )は以下のとおり。
- 紛争を考慮しない場合に比較し、各地域で評価が悪化している。
- 特に、Africa, Middle Eastでの悪化幅が大きい。

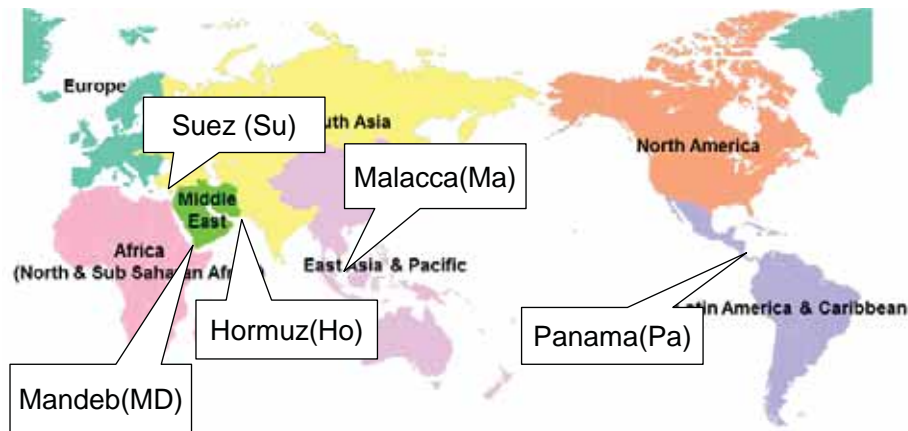
紛争頻度の考慮による評価結果への影響



## (4) シーレーンリスクの評価

- 調達元地域から評価対象国への海上輸送の際、チョークポイントや危険海域の通過のリスクがある。
- チョークポイントや危険海域を1箇所通過するごとに、当該調達元地域の基本の供給リスク評価を1レベル下げて評価を行う。

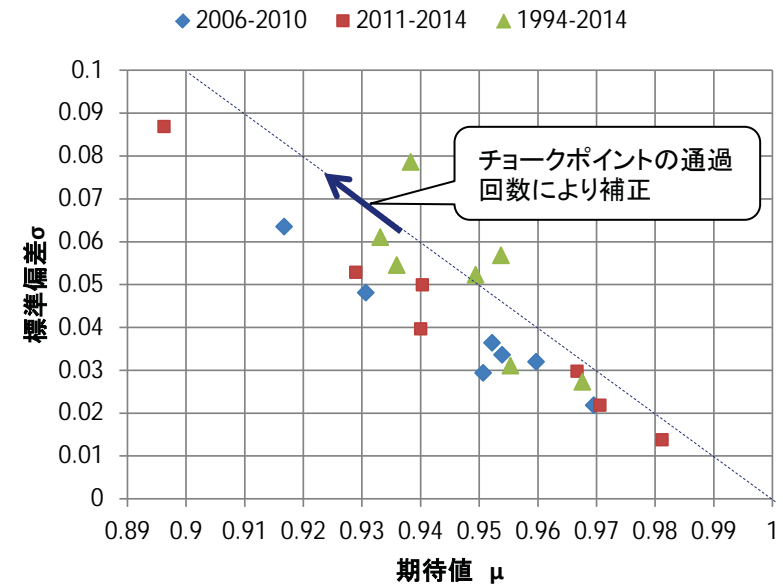
主要なチョークポイントと通過想定



FROM	TO	代表地	Japan & Korea	China	Vietnam	US & Canada	Russia	India	EU
East Asia & Pacific	Newcastle		X	X	X	X	X	X	X
Europe	Rotterdam		Ma	Ma	Ma	X	X	X	X
Latin America & Caribbean	Puerto Bolivar		Ma	Ma	Ma	X	X	X	X
Middle East	Basrah		Ho, Ma	Ho, Ma	Ho, Ma	Ho, MD, Su	X	Ho	Ho, MD, Su
North America	Baltm/Vancouver		X	X	X	X	X	Ma	X
Central & South Asia			X	X	X	X	X	X	X
Africa (North & Sub Saharan Africa)	Lagos		Ma	Ma	Ma	X	X	X	X

- 日本や韓国への海上輸送にはチョークポイントの通過回数が多い。

基本の供給リスク評価結果(地域別)とその補正



	チョークポイントの通過回数	地域別の標準偏差σへの補正	地域別の期待値μへの補正
レベル I	ゼロ	1倍	△μ = -△σとなるように補正
レベル II	1	1.5倍	
レベル III	2	2倍	
レベル IV	3	2.5倍	