

資源・燃料の安定確保に向けて

～エネルギーのセキュリティ・インデックスについて～

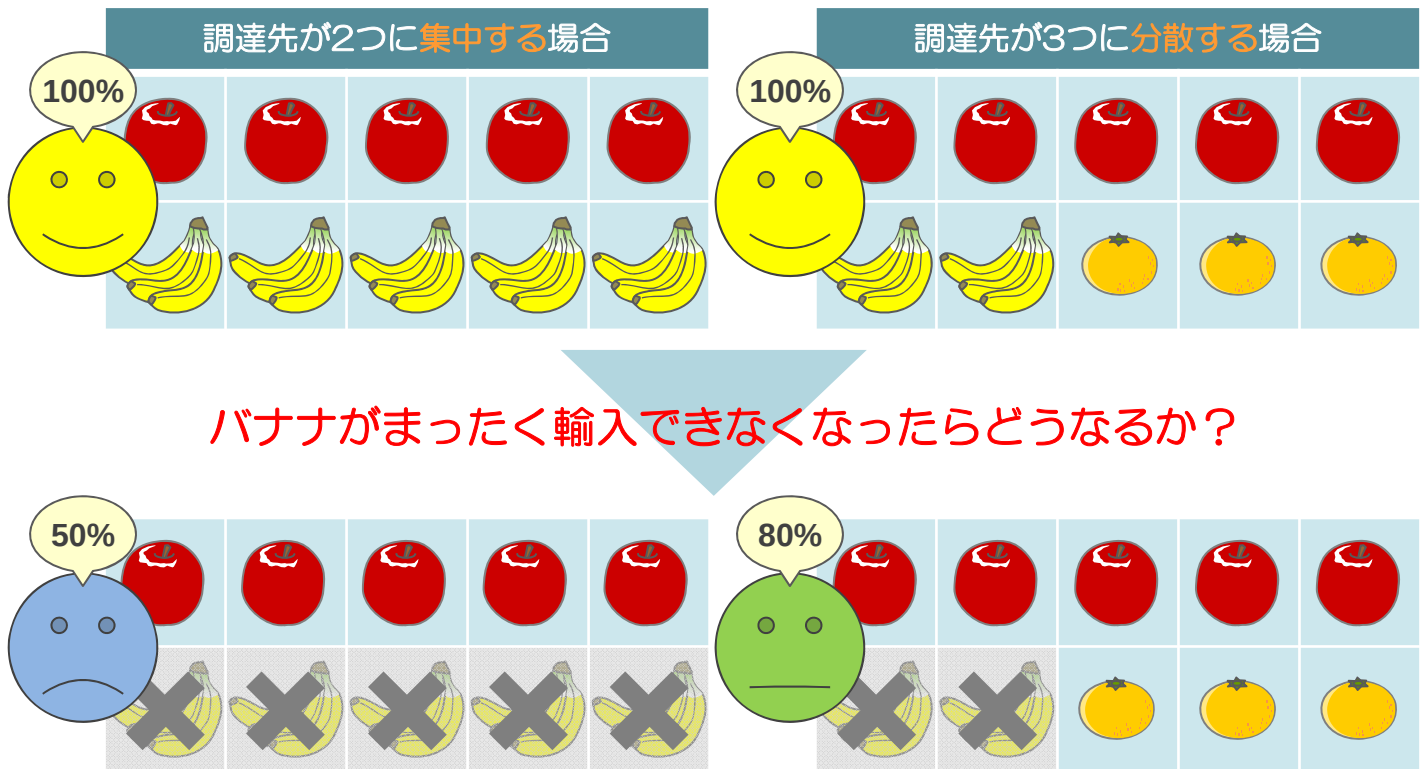
＜本資料の位置付け＞

わが国では原油、石油製品、天然ガス、石炭等の化石燃料の需要の大半を輸入により賄っており、安定的なエネルギー資源調達の継続が、諸外国と比較しても特に大きな課題となっています。

この資料は2014年12月の資源・燃料分科会の指摘を受け、エネルギー調達の安定度合いを測る「セキュリティ・インデックス」について分かりやすく説明するために作成したものです。

分散調達的重要性

調達先を分散させることで、調達量が不足する可能性を小さくすることができます。



<調達先を分散させる効果：果物の例>

- エネルギー調達を安定化するためには、まず燃料の「分散調達」を行うことが重要です。
- これを身近な果物を例にして考えてみましょう。
- 例えば、ある国では果物の需要を満たすために、以下の2つの方法でそれぞれ別の国から果物を輸入できるとします。
 - ✓ 調達先が2つに集中する場合⇒りんご：50%、バナナ：50%
 - ✓ 調達先が3つに分散する場合⇒りんご：50%、バナナ：20%、みかん：30%
- もしバナナがまったく輸入できなくなるとすると、調達先が2つに集中する場合は50%しか果物が調達できません。
- しかし、調達先が3つに分散する場合は、80%の果物が調達できます。
- このように、調達先を分散させることにより、調達量が不足する可能性を小さくできます。

調達先のリスクを考慮する重要性

リスクの高い調達先を減らすことで、調達量が不足する可能性を小さくすることができます。



<リスクの高い調達先を減らす効果：果物の例>

- 調達先の分散だけでなく、調達先が安定的に供給できないリスクを考慮することも重要です。
- 先ほどと同様に果物を例にして考えてみましょう。
- 例えば、以下の2つの方法でそれぞれ別の国から果物を輸入できるとします。
ただし、りんごには安定的に輸入できないリスクがあるとします。
 - ✓ リスクの高い調達先が多い場合 ⇒りんご：50%、バナナ：20%、みかん：30%
 - ✓ リスクの高い調達先が少ない場合⇒りんご：30%、バナナ：20%、みかん：50%
- もしりんごが安定的に輸入できるかわからないとすると、リスクの高い調達先が多い場合は、果物の調達が最低で50%まで減ってしまうかもしれません。
- しかし、リスクの高い調達先が少ない場合は、最低でも70%の果物が調達できます。
- このように、リスクの高い調達先を減らすことにより、調達量が不足する可能性を小さくできます。

自給の重要性

自給率を高めることで、調達量が不足する可能性を小さくすることができます。



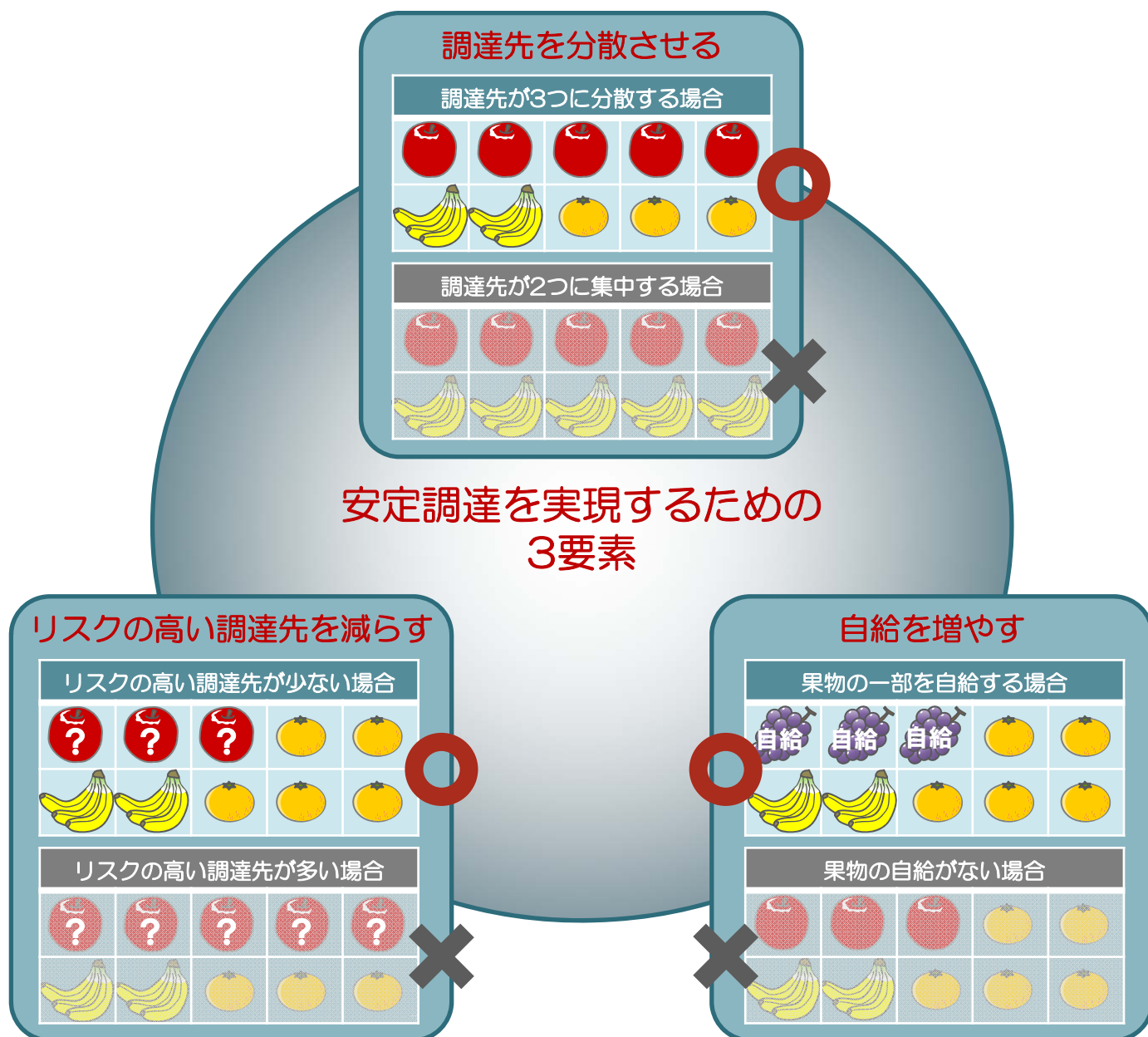
りんごとバナナが全く輸入できなくなったらどうなるか？

<自給を増やす効果：果物の例>

- 自給を増やして輸入を減らすことにより、さらに安定的な調達が可能になります。
- 先ほどと同様に果物を例にして考えてみましょう。
例えば、以下の2つの方法で果物をそれぞれ別の国から輸入する、または自給することができます。
- ✓ 果物の自給がない場合（すべて輸入）
⇒ りんご：30%（輸入）、バナナ：20%（輸入）、みかん：50%（輸入）
- ✓ 果物の一部を自給する場合
⇒ ぶどう：30%（自給）、バナナ：20%（輸入）、みかん：50%（輸入）
- もしりんごとバナナを全く輸入できなくなったとすると、果物の自給がない場合は、50%しか果物が調達できません。
- しかし、果物の一部を自給する場合は、80%の果物が調達できます。
- このように、自給を増やすことにより、調達量が不足する可能性を小さくできます。

安定調達を実現するための3要素

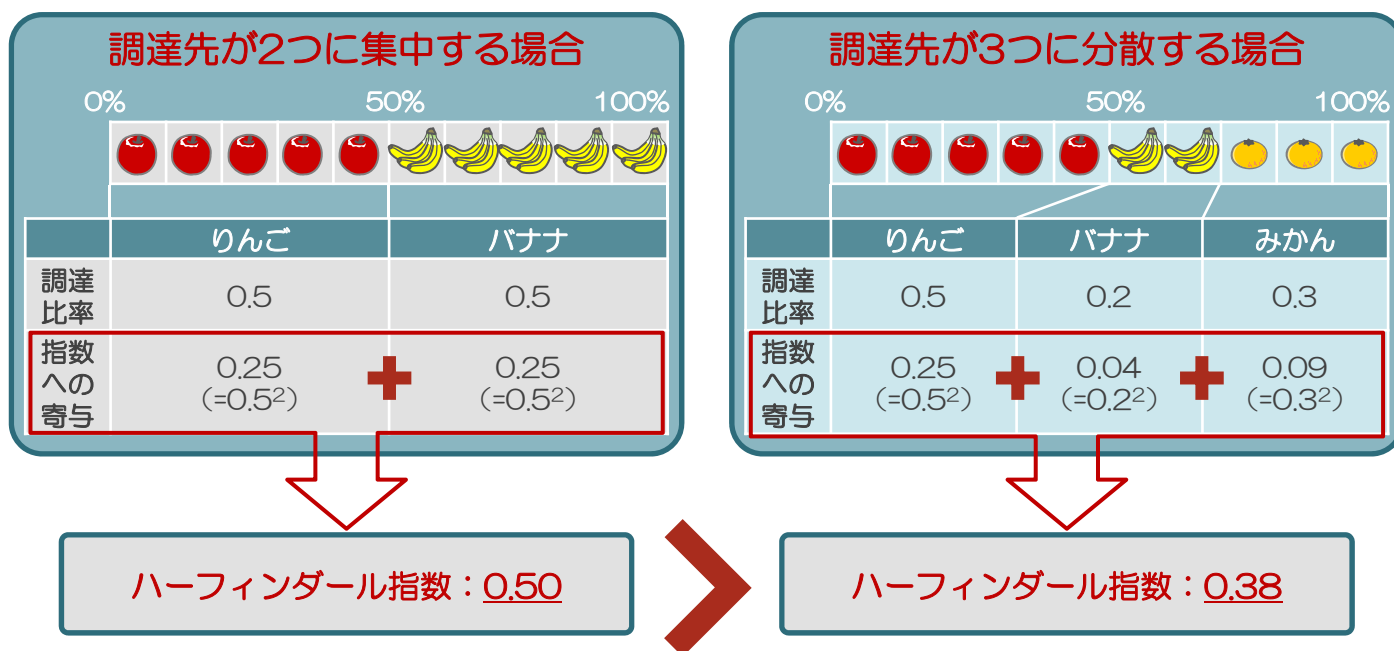
これまで見てきましたように、安定調達の実現のためには、「調達先を分散させる」、「リスクの高い調達先を減らす」、「自給を増やす」ことが重要です。



■ 次のページからは、これらの3要素を定量的に評価するための方法を説明します。

調達安定性の定量的な評価方法1/3

調達先の分散の程度を評価するための、「ハーフィンダール指数」という指標があります。



調達先が3つに分散するほうが
ハーフィンダール指数が小さく、
より安定的な調達が可能

<調達安定性とハーフィンダール指数の関係>

- 資源調達における調達安定性は、「ハーフィンダール指数」という統計的な指標を活用することで評価できます。
- ハーフィンダール指数は、調達先の分散の程度を測る指標です。この指数によって調達先がより分散していると評価される場合、より安定的な調達が可能であるといえます。

<ハーフィンダール指数の算出方法>

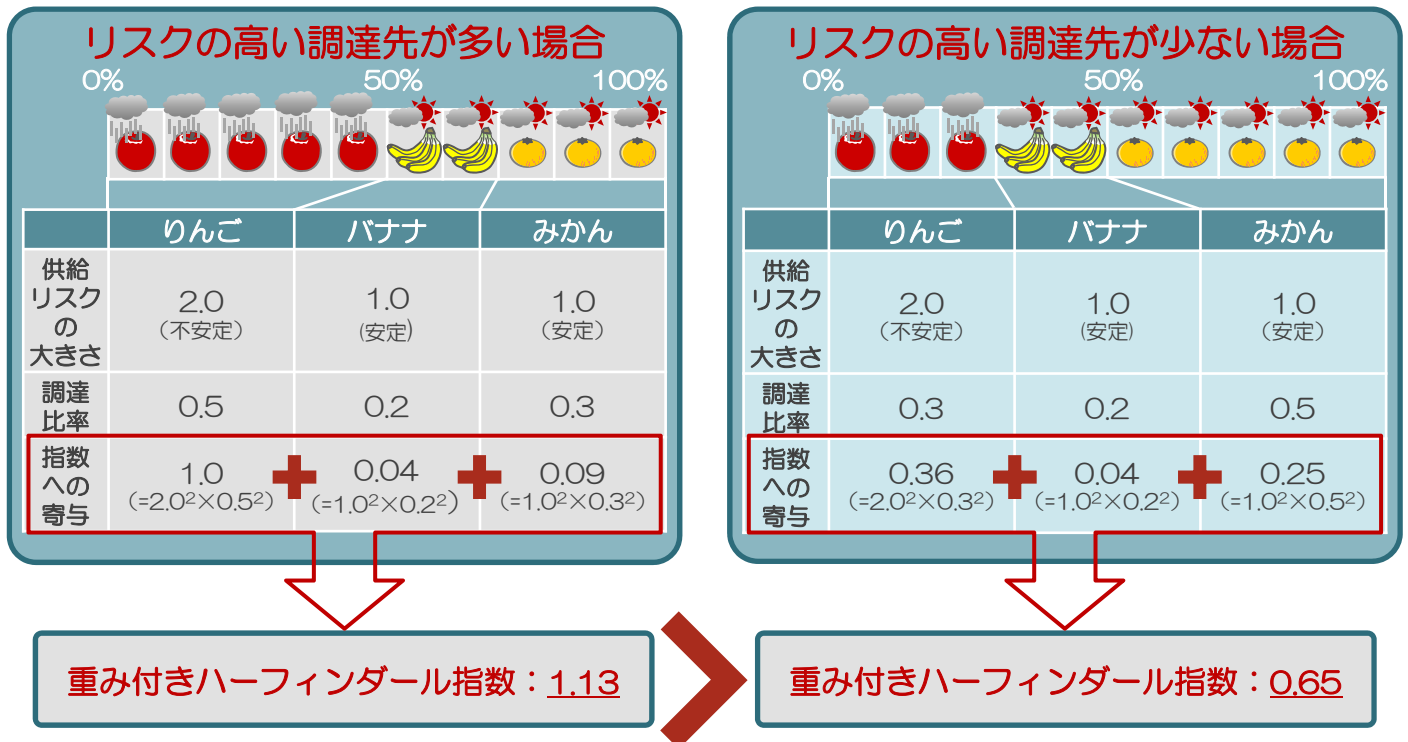
- ハーフィンダール指数は、「各国からの資源調達の比率の二乗」を調達先の全ての国について合計することにより得られる指標です。
- この指数は調達先が分散しているほど小さくなる（集中しているほど大きくなる）ため、より小さな値を示すほど、安定的な資源調達ができていると捉えることができます。

<ハーフィンダール指数の算出例>

- P.1の果物の調達先構成において、ハーフィンダール指数は以下のように算出されます。
 - ✓ 調達先が2つに集中する場合: $0.5^2 + 0.5^2 = 0.50$
 - ✓ 調達先が3つに分散する場合: $0.5^2 + 0.2^2 + 0.3^2 = 0.38$
- 調達先が3つに分散する場合、そのハーフィンダール指数は、調達先が2つに集中する場合よりも小さいため、より安定的な調達が可能であるといえます。

調達安定性の定量的な評価方法2/3

調達先のリスクの高さは、「重み付きハーフィンダール指数」を用いることで評価できます。



リスクの高い調達先を減らしたほうが
重み付きハーフィンダール指数が小さく、より安定的な調達が可能

<重み付きハーフィンダール指数の考え方>

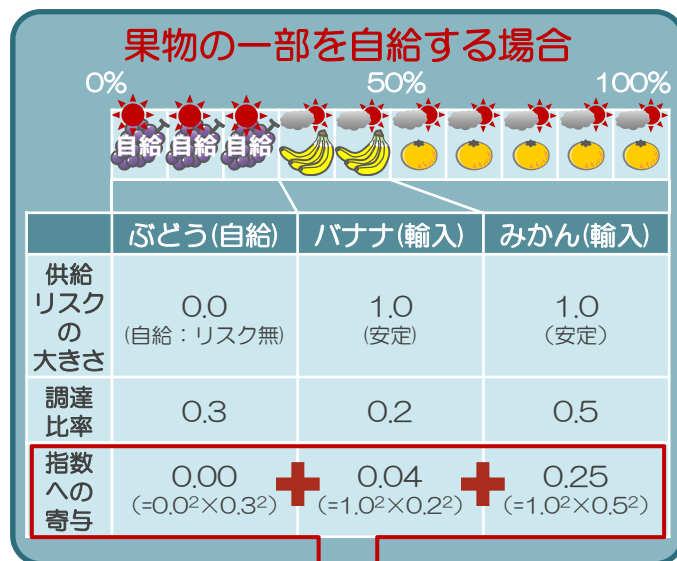
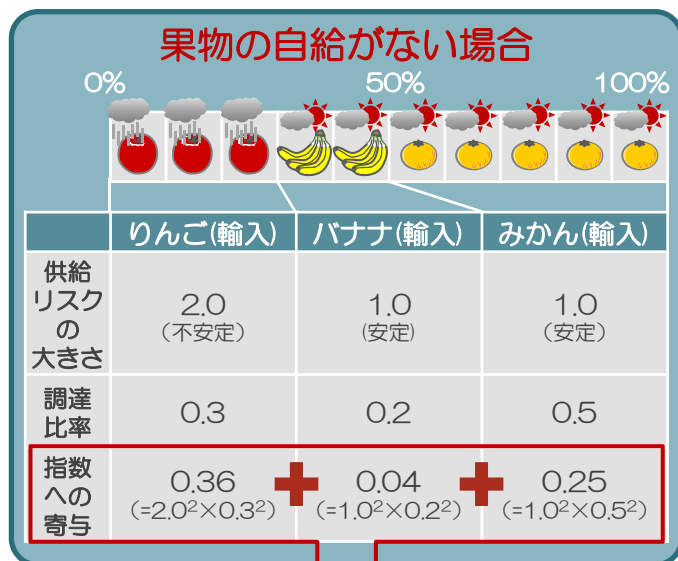
- 先ほどのハーフィンダール指数を応用することで、各調達先が安定的な供給を行えなくなる「供給リスク」も考慮し、調達安定性の指標を算出することが可能になります。
- この指標を「重み付きハーフィンダール指数」と呼ぶことにします。
「その国の供給リスクの大きさを表す数値の二乗」に、「各国からの資源調達の比率の二乗」をかけて、得られた結果を各国で合計することで算出できます。
- この指数が小さいほど、調達先の分散の程度、調達先の安定供給能力の双方の観点から、より安定的な資源調達ができていると捉えることができます。

<重み付きハーフィンダール指数の算出例>

- P.2の調達先構成で、りんごの供給リスクがバナナ、みかんよりも2倍高いとします。
このとき、リスクの高い調達先が多い場合と、リスクが高い調達先が少ない場合の重み付きハーフィンダール指数はそれぞれ以下のように算出されます。
✓リスクの高い調達先が多い場合： $2.0^2 \times 0.5^2 + 1.0^2 \times 0.2^2 + 1.0^2 \times 0.3^2 = 1.13$
✓リスクの高い調達先が少ない場合： $2.0^2 \times 0.3^2 + 1.0^2 \times 0.2^2 + 1.0^2 \times 0.5^2 = 0.65$
- リスクの高い調達先が少ない場合、その重み付きハーフィンダール指数は、リスクが高い調達先が多い場合よりも小さいため、より安定的な調達が可能であるといえます。

調達安定性の定量的な評価方法3/3

重み付きハーフィンダール指数を用いると、自給の効果を評価することもできます。



重み付きハーフィンダール指数：0.65

重み付きハーフィンダール指数：0.29

リスクのない自給を増やしたほうが
重み付きハーフィンダール指数が小さく、さらに安定的な調達が可能

＜重み付きハーフィンダール指数における自給の評価方法＞

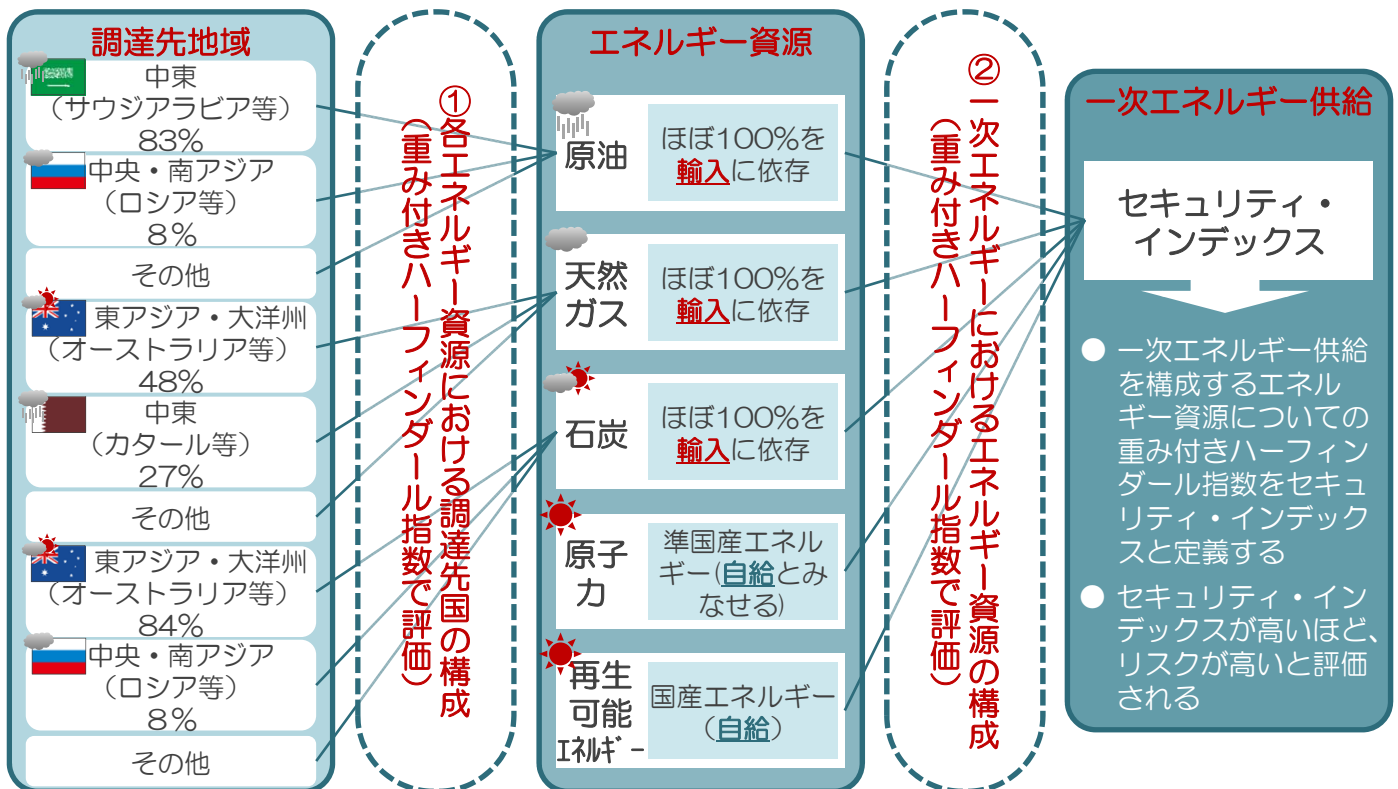
- 重み付きハーフィンダール指数では、自給に対する供給リスクをゼロと設定することで、調達安定性の評価に自給の影響を反映することもできます。

＜重み付きハーフィンダール指数の算出例＞

- P.3の調達先構成で、りんごの供給リスクがバナナ、みかんよりも2倍高く、自給のぶどうの供給リスクがゼロであるとしします。このとき、果物の自給がない場合と、果物の一部を自給する場合の重み付きハーフィンダール指数はそれぞれ以下のように算出されます。
 - ✓果物の自給がない場合： $2.0^2 \times 0.3^2 + 1.0^2 \times 0.2^2 + 1.0^2 \times 0.5^2 = 0.65$
 - ✓果物の一部を自給する場合： $0.0^2 \times 0.3^2 + 1.0^2 \times 0.2^2 + 1.0^2 \times 0.5^2 = 0.29$
- 一部を自給する場合、そのハーフィンダール指数は、自給がない場合よりも小さくなります。したがって、リスクのない自給を増やしたほうが、より安定的な調達が可能であるといえます。

セキュリティ・インデックスの計算方法

一次エネルギー供給の安定性をセキュリティ・インデックスとして評価します。計算には以下のような2段階のステップがあります。



<わが国のエネルギー供給の構造>

- わが国では原油、天然ガス、石炭、原子力、再生可能エネルギーによって一次エネルギー供給を賄っています。その中でも原油、天然ガス、石炭等のエネルギー資源は中東やアジアを中心とする様々な国からの輸入に大きく依存しています。

<セキュリティ・インデックスの計算ステップ>

① 各エネルギー資源における調達先国の構成

- ✓ 同じエネルギー資源を調達する場合でも、どのような国から、どのような割合でエネルギー資源を輸入するかについて、様々な組み合わせがあり得ます。また、自国でエネルギーを生産していればエネルギー資源を自給することができます。
- ✓ 先ほどまでの果物の説明において、例えば、りんごをサウジアラビア、バナナをアラブ首長国連邦などのように、果物をエネルギー資源の調達先国に置き換えると、重み付きハーフィンダール指数の考え方をを用いてエネルギー資源の調達安定性を測ることができます。

② 一次エネルギーにおけるエネルギー資源の構成

- ✓ 一次エネルギー供給の構成として、原油、天然ガス、石炭、原子力、再生可能エネルギーをどのような割合で組み合わせるかについて、様々な場合があります。
- ✓ 一次エネルギー供給についても資源の種類を分散させたり、リスクの低い資源を多く利用することで調達安定性を高めることができます。エネルギー資源を構成する調達先国の場合と同様に、重み付きハーフィンダール指数を用いることで一次エネルギー供給の安定性も測ることが可能であり、これをセキュリティ・インデックスと定義します。

調達先国の供給リスクの評価方法1/3

果物の例と同様に、エネルギー資源の調達安定性を評価することができます。



定量的な評価が必要
→ 以下の3つの要素から計算
(1) 過去の燃料生産の変動性 (不安定性)
(2) 紛争のリスク
(3) シーレーンのリスク※

※ シーレーンのリスクとは、国際的にその危険性が指摘されている海上輸送ポイント (例：ホルムズ海峡) を通過する際に発生するリスク

統計データから取得可能

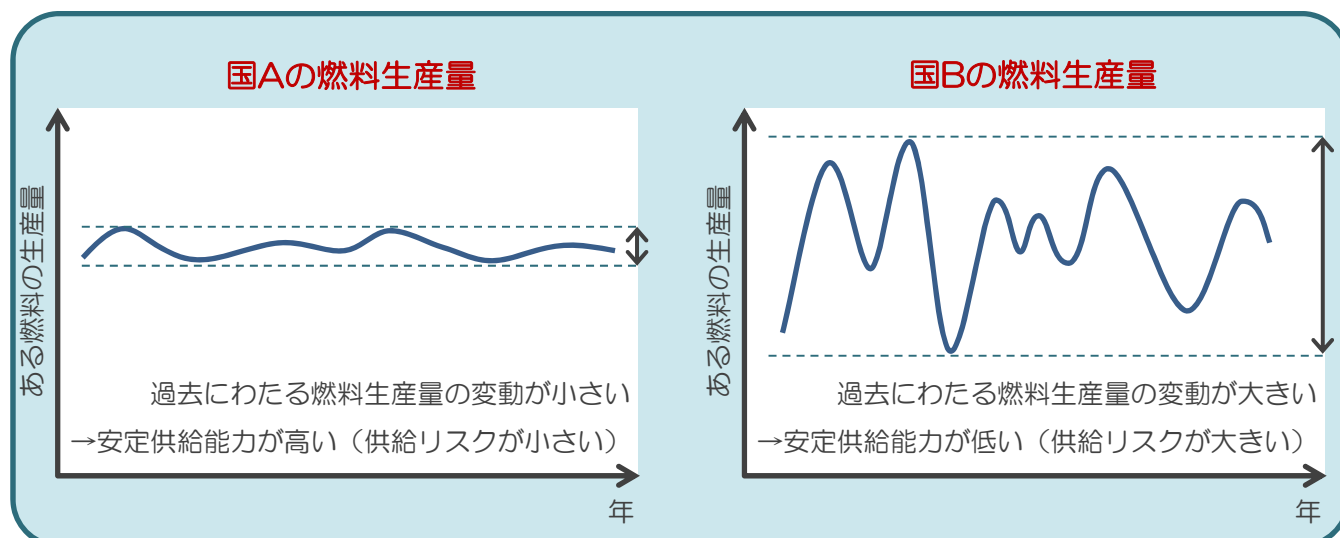
<調達先国の供給リスクとして加味する要素>

- セキュリティ・インデックスの計算のため、まず各エネルギー資源の調達安定性を考えます。重み付きハーフィンダール指数の考え方に基づくと、エネルギー資源の調達安定性を評価するためには「調達先国の供給リスクの大きさ」と「各国からの調達比率」のデータが必要です。
 - 各国からの調達比率は、輸入比率という形で統計からデータが取得可能です。
 - 一方、調達先国の供給リスクの大きさについては、各国の安定供給能力に関する諸要素を考慮した上で定量的な評価が必要になります。
- そこで、以下の3つの要素を考慮して調達先国の供給リスクを算出します。
- (1) 過去の燃料生産の変動性 (不安定性)
 - (2) 紛争のリスク
 - (3) 調達ルートにおけるシーレーンのリスク

調達先国の供給リスクの評価方法 2/3

<(1) 過去の燃料生産の変動性（不安定性）から供給リスクを算出>

過去の燃料生産量の変動幅に基づいて、各国のリスクを定量評価しました。

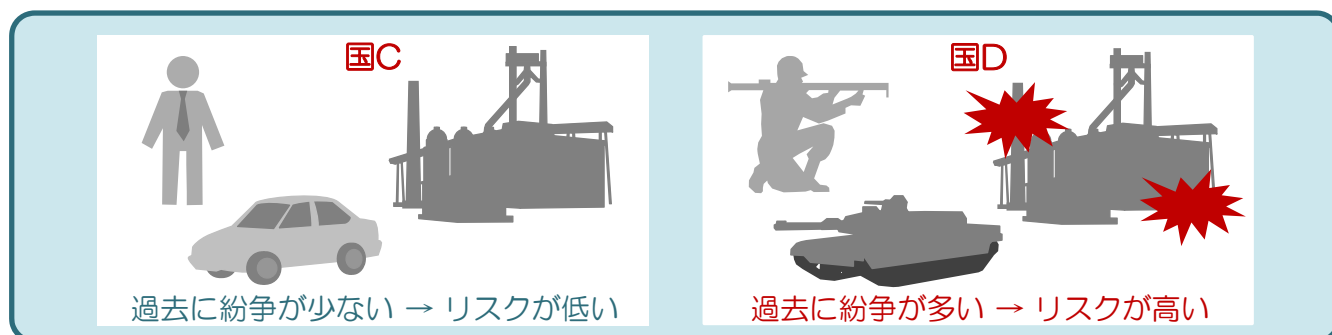


<(1)過去の燃料生産の変動性（不安定性）>

- 過去にわたって燃料を安定的に生産してきた国は、将来も安定的に生産を行う可能性が高いと考えられます。
- したがって、調達先国の時系列的な燃料生産の変動幅に基づいて、その国の「供給リスク」を定量評価しました。
- 例えば、国Aと国Bが過去に上図のような燃料生産を行ってきた場合、国Aの方が安定的に燃料を生産してきた実績があり、国Aの供給リスクのほうが国Bよりも低いと考えられます。すなわち、供給リスクが低いほど、安定供給能力が高いと評価されます。

<(2) 紛争の頻度から供給リスクを補正>

各国における紛争の発生し易さを定量評価して、供給リスクを補正しました。



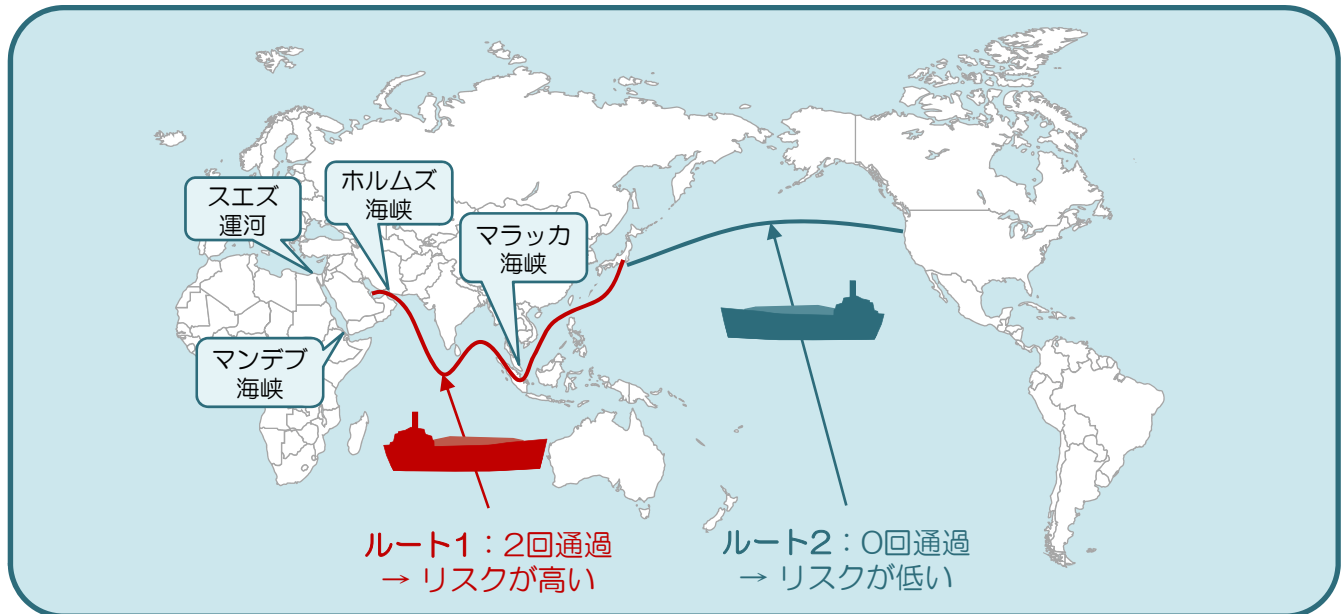
<(2)紛争のリスク>

- 調達先国で大規模な紛争が発生すると、燃料の供給能力が低下する可能性があります。
- そこで調達先国の過去の紛争頻度から、当該国の紛争の起こりやすさを紛争レベルという形で定量評価しました。
- そして、(1)で定量評価した供給リスクを、紛争レベルに応じて補正することで、紛争を考慮した供給リスクを算出しました。

調達先国の供給リスクの評価方法 3 / 3

<(3) 危険ポイントの通過回数で供給リスクを補正>

国際的に危険性が指摘されているポイントを通じて、供給リスクを補正しました。

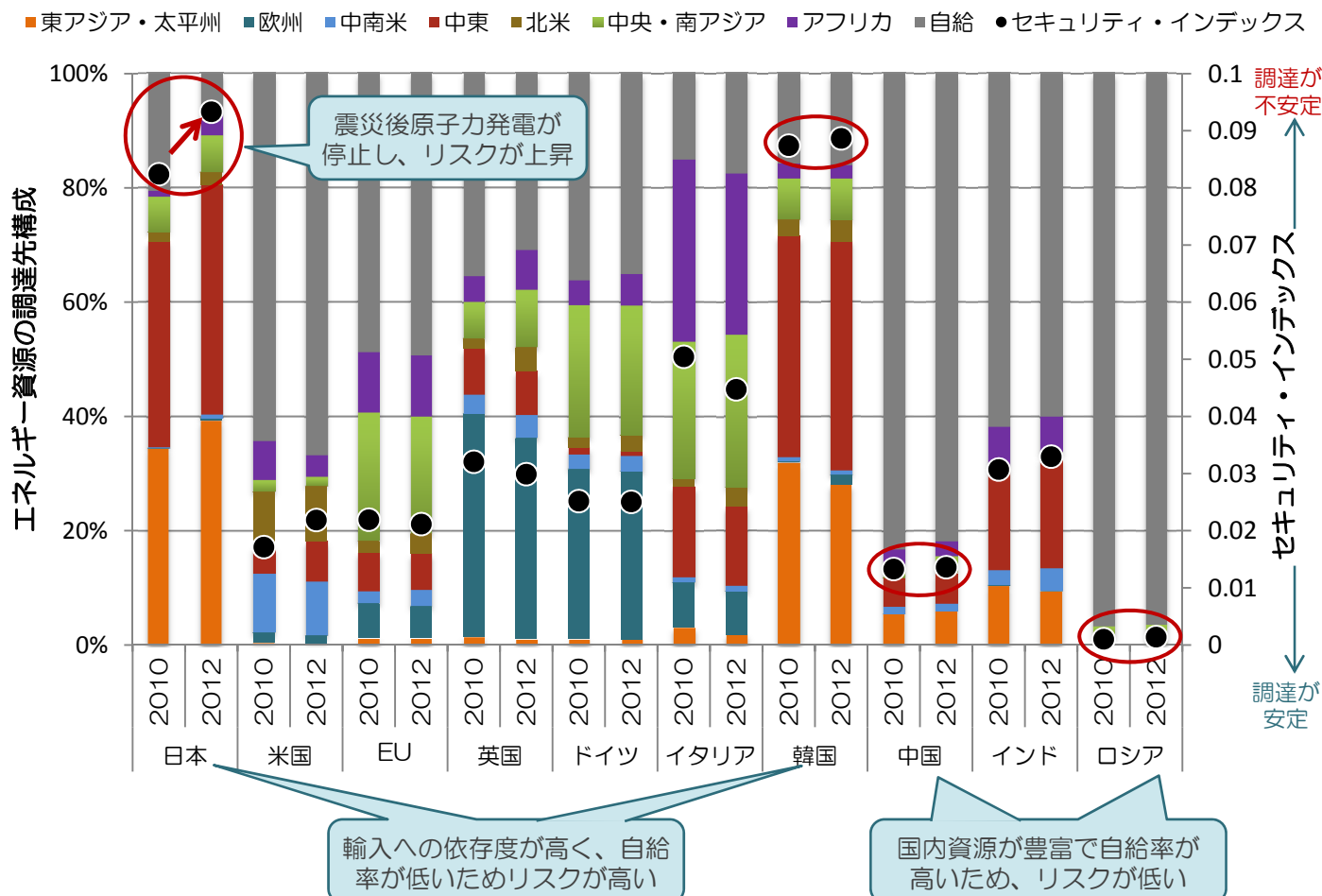


<(3) 調達ルートにおけるシーレーンのリスク>

- わが国が輸入している燃料の多くは、海上ルートを通して日本に入ってきます。
- そのため、何らかの理由で輸送ルートが遮断された場合には、燃料輸入が困難になります。
- そこで、国際的にその危険性が指摘されているポイントを通じて、シーレーンリスクを定量評価しました。
- そして、(2)で定量評価した供給リスクを、シーレーンリスクで補正することで、最終的な調達先国の供給リスクを算出しました。

主要国におけるセキュリティ・インデックスの比較

これまで紹介してきた考え方を使って主要国のセキュリティ・インデックスを計算すると、以下のようになります。



＜主要国におけるセキュリティ・インデックスの比較＞

- 主要国の一次エネルギー構成と各エネルギー資源の調達安定性を元に、各国のエネルギー・セキュリティ・インデックスを計算しました。
- 大きな特徴は以下のようになっています。
 - ✓ 一次エネルギー供給の大半を輸入に頼る日本や韓国のリスクが高い。
 - ✓ 中国やロシアは国内資源が豊富であり、リスクが低い。
 - ✓ 日本では震災後に原子力発電が停止したことに伴い、リスクが上昇している。

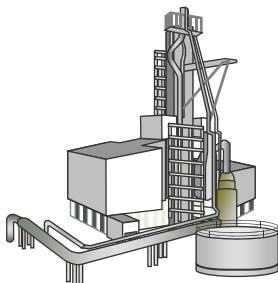
セキュリティ・インデックスの応用例

＜セキュリティ・インデックスの応用例1：部門毎のリスク評価＞

産業・業務・家庭・運輸等の部門別に、エネルギーの調達安定性を評価できます。

エネルギーを利用する部門毎のリスクはどの程度か？

産業部門



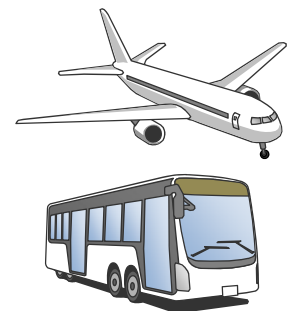
業務部門



家庭部門



運輸部門



＜セキュリティ・インデックスの応用例2：調達方法変更の影響評価＞

他国からの輸入や自給に調達方法を切り替えた際の、調達安定性への影響を比較できます。

① 調達先変更の影響評価

中東からの石油
-5%

北米からの石油
+5%

セキュリティ・インデックスは
どの程度改善？

③ 両者の影響比較 (どちらが有効？)

② 自給増加の影響評価

中東からの石油
-5%

自給の燃料
+5%

セキュリティ・インデックスは
どの程度改善？

＜セキュリティ・インデックスの応用例＞

- セキュリティ・インデックスは、一次エネルギーの供給構造の評価だけでなく、産業・業務・家庭・運輸等の部門別のエネルギーの調達安定性の評価にも応用することも可能です。
- また、ある国や地域から輸入している燃料の一部を、他の調達先から輸入した場合や、自給に切り替えた場合の影響を定量的に評価することもできます。例えば、以下のような応用方法が想定されます。
 - ✓ 現在日本が中東から輸入している石油の5%を、北アメリカからの輸入に切り替えた場合に、セキュリティ・インデックスがどの程度改善するのか評価する。
 - ✓ 日本の自給エネルギーが5%増加した場合に、セキュリティ・インデックスがどの程度改善するのか評価する。
 - ✓ 中東からの石油調達を北アメリカに切り替える影響と、自給エネルギーを増加させた場合の影響を定量的に比較する。

奥付