

世界 157 ヶ国のエネルギー消費量変化傾向のベクトル場

古藤 浩

Vector Field of Energy Consumption Change Tendency in 157 Countries in the World

KOTOH Hiroshi

The energy consumption (defined as an amount of the oil conversion) tendency of world 157 countries is analyzed. The overview of worlds' energy consumption tendency is shown through time series analysis with the data of 1994 and 2004. Concretely, we focus on the energy consumed per a person and the energy consumed per an US dollar in GDP. The vector field that describes the relation of two indexes change is made by applying the method of the Kriging. The feature of the change in the energy consumption tendency is discussed.

Keywords: エネルギー消費傾向, 時系列変化, ベクトル場, 国家分析, クリギング

1. はじめに

本研究では世界の主要 157 ヶ国の国家別エネルギー消費傾向(消費量は石油換算量)を分析する。1994 年と 2004 年の国連の統計データ¹⁾による世界のエネルギー消費傾向の変化方向の俯瞰を試みる。具体的には一人当たり及び GDP 1 米ドル当たりのエネルギー消費量に注目し、クリギングの手法を参考に二つの指標の変化傾向を整理するベクトル場を作成し、ここからエネルギー消費傾向の変化の特徴と今後の趨勢を議論する。

2. エネルギー消費データの概要

データの例示として、分析対象国家のうち 2004 年の消費エネルギー量が上位・下位 3 位までを示せば表 1 になる。最大値と最小値ではどの指標でも 1 万倍程度の差がある。

エネルギー消費量は、次の式で定義される：
[生産]+[輸入]-[輸出]-[輸送中の消費]+[在庫]。
エネルギー消費量との相関係数は人口が 0.597 なのに対し、GDP が 0.881 で、エネルギーの分配が先進

古藤 浩：〒990-9530 山形市桜田西 3-4-5

東北芸術工科大学デザイン工学部 023(627)2062

E-mail kotoh@content.tuad.ac.jp

国に偏っていることが窺われる。

表 1 では国家規模の差が強調され、エネルギー消費の状況が十分読めないのが、(a)一人あたり消費量と(b)GDP1 ドルあたり消費量、という 2 種類の指標で基準化して考える。ここで GDP は米ドルの 1990 年のレートに固定した値を取った。(a),(b)の値の主な国と極値の国家について示したのが表 2 となる。

指標(a)は生活が豊かか、気候が極端だと大きくなる(冷暖房にエネルギーがかさむ)と考えられる。また指標(b)は 1 ドル生むのに必要なエネルギーなの

表 1 データの概要 (2004 年消費の上下位 3 国)

国家名	pop(×1000)		GDP(×\$1000000)		Oil Equip kt	
	1994	2004	1994	2004	1994	2004
U.S.A	267362	296844	6345161	8734868	1881245	2051914
China	1201712	1304983	615815	1477367	763155	1260182
Japan	125119	127798	3168378	3530123	394406	441823
Maldives	242	291	278	584	73	240
仏領 Polynesia	212	252	3129	4203	190	230
Mali	8508	11265	2713	4754	171	210

表 2 基準化した指標値 (消費 3 大国と 2004 年消費の最大または最小の国家)

国家名	(a)E.C. per pop (t)		(b)E.C. per GDP (kg/\$)	
	1994	2004	1994	2004
U.S.A	7.04	6.91	0.30	0.23
China	0.64	0.97	1.24	0.85
Japan	3.15	3.46	0.12	0.13
Mali	0.02	0.02	0.06	0.04
Afghanistan	0.03	0.01	0.18	0.07
Qatar	27.80	29.08	1.75	1.26
Turkmenistan	3.46	3.54	6.80	6.16

でエネルギー消費の経済性または気候等による燃料の必要性を示しているだろう。表2からは先進国がエネルギーを効率的にかつたくさん使っていることが窺われる。

図1は対象157ヶ国の指標(a),(b)の10年間の変化を示す。指標(b)の値が大きい国家はその値をかなり下げたこと、指標(a)は大きくなる傾向にありそうなのがわかるが、値が小さい位置に大半のデータが

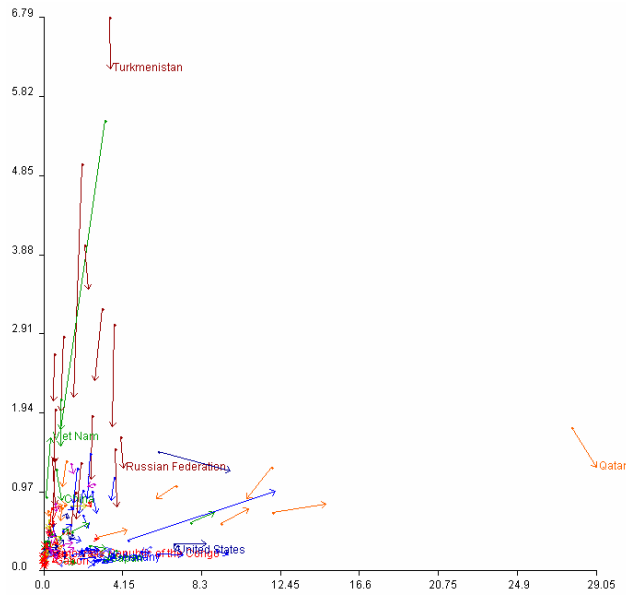


図1 (a)一人あたり消費量(横軸)と(b)GDP1ドルあたり消費量(縦軸)

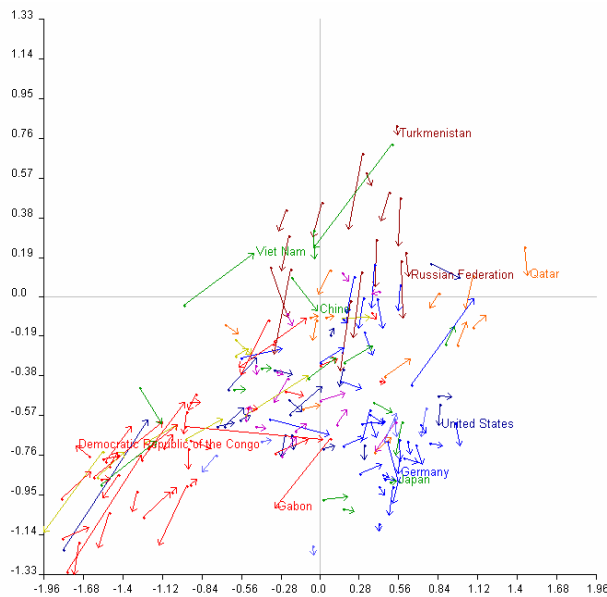


図2 図1の両軸に常用対数をとったもの [(a)一人国家あたり→横軸, (b)GDP1ドルあたり→縦軸]

集まり全体像がつかめない。そこで、両軸とも対数をとったのが図2である。すると、(a),(b)両者とも値が小さい国家は両方を増やす方向へ、(b)が大きなはそれを小さくする方向へ、(a)が大きく(b)が小さい国家は変化が少ない、といった傾向が見える。

しかし、データを詳細に見ると反対方向の矢印も見えし、それほど単純ではない。しかし、全体の方向性・傾向がわかれば各国家が今後どの方向に変化しようとしているか、また、各国について無理がない政策はどのような方向へ誘導するものかわかるだろう。そこで、このデータを利用して全体の流れを示すベクトル場の構築を次節で試みる。

3. エネルギー消費のベクトル場

3.1 平均ベクトルの基本式

ここからの分析は全て二つの指標(a),(b)両方に常用対数をとった場(つまり図2の場)でおこなう。ベクトルは1994年を基点として定義する。まず、用語を次のように定義する。

x_i^j : i 国の j 年の一人当たりエネルギー消費(対数値)

y_i^j : i 国の j 年の1\$当たりエネルギー消費(対数値)

$$\Delta x_i^j = x_i^{j+10} - x_i^j, \quad \Delta y_i^j = y_i^{j+10} - y_i^j$$

本研究の対象データは1994年とその10年後へのベクトルだけなので、以降の数式では年 j を省略する。

ベクトル場の作成にはクリギングの考え方を応用する。クリギングとはいくつかの地点に関する地理的なデータの値から別にある地点の値を推定する方法である。それは地点 P の推定値を z_p としたときに、 k 番目のデータに対する重み係数を w_k 、データを Δx_k とし、

$$z_p = \sum_k w_k \Delta x_k, \quad s.t. \sum_k w_k = 1 \quad (1)$$

が基本式となる。制約式は普遍性を保つためのものである。一般には推定分散を最小にするという目的式で計算がなされる²⁾が、本研究の対象データは地理的なものではなく近い位置での相反する値も少なくない、対象がベクトルであり単一の値ではない、と条件が異なるため、最適化とは異なる簡便法(重み

つきのベクトルの平均)をとる。

ベクトルの平均は x 方向, y 方向のそれぞれの成分の平均を取ることで行う。重みは二方向で共通とした。すると, ある点 $P(p_x, p_y)$ のベクトル推定値 $(\Delta p_x, \Delta p_y)$ は

$$\Delta p_x = \sum_k w_k \Delta x_k, \quad \Delta p_y = \sum_k w_k \Delta y_k$$

と書ける。

3.2 ウェイトの検討

ウェイト w_k の考察にはまずクリギングにおける“バリオグラム”というデータ間の距離による指標値の類似度の分析手法を応用する。全ての i, j の組み合わせに対して, 距離と類似度,

$$\left(\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}, \frac{(\Delta x_i - \Delta x_j)^2 + (\Delta y_i - \Delta y_j)^2}{2} \right) \quad (2)$$

を調べれば図3を得る。しかし図3でははずれ値が多く傾向が明示できない。この問題に対応し, クリギングでは, 区間を分け, 区間ごとの平均値(セミバリオグラムと呼ばれる)から類似傾向を判定している。本データでのセミバリオグラムは図4になる。

クリギングでは図4から距離による類似度の関数(“[ウェイトの]母関数”と呼ぶ)を与えウェイトを求める。点 p と i の母関数を $r(p, i)$ と書けば, 簡便法でのある点 p におけるデータ i のウェイトを

$$w_i = \frac{1/r(p, i)}{\sum_k (1/r(p, k))} \quad (3)$$

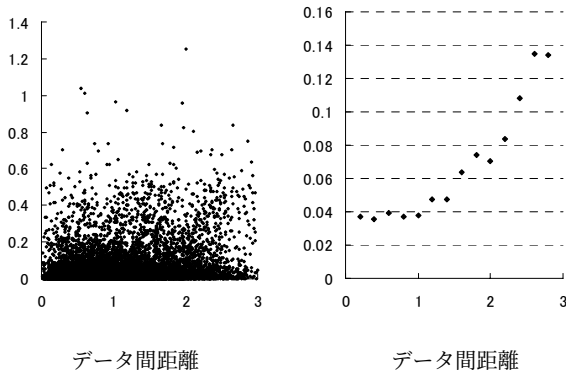


図3 バリオグラム雲 図4 セミバリオグラム

と定義する。式(3)の分母は式(1)の制約を満たすためのものである。図4を参考に母関数を指数関数で, $r(p, i) = a \exp(bd_{pi})$ とおけば, 最小二乗推定から $a=0.0263$, $b=0.5579$ となる。それに従い式(1), (3)からベクトル場を作成すると図5になる。

図2の流れへの著者のイメージとは異なる印象の図5となった。そのひとつの理由は, 半径1の範囲が同じウェイトなのでいわば平均化しすぎた結果と考えられる。たとえば日本に近い位置 $P(0.5, -0.9)$ でのベクトル推定値を求めた場合のウェイトは図6に

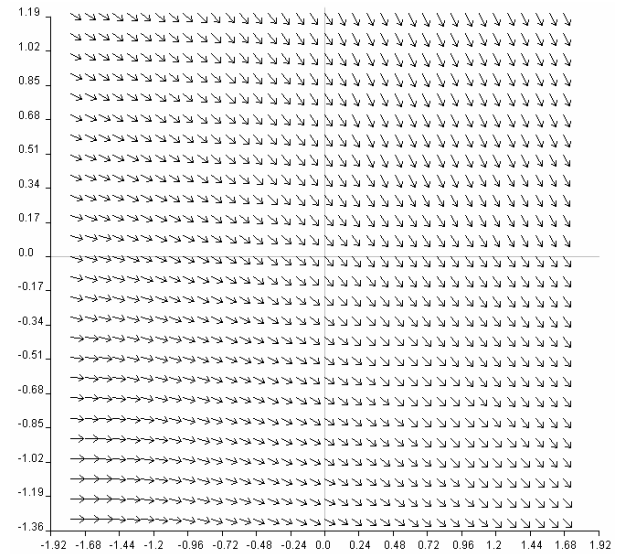


図5 母関数が指数関数の場合のベクトル場

[(a)一人あたり→横軸, (b)GNP 1ドルあたり→縦軸]

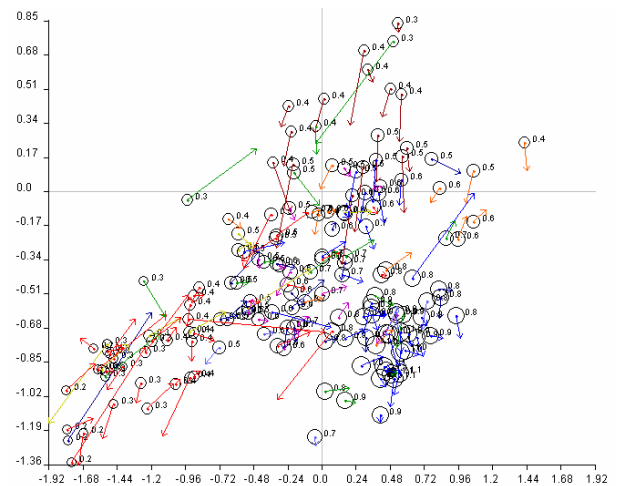


図6 $P(0.5, -0.9)$ でのベクトル推定値を求めた場合のウェイト。数値は100分率, 円の面積がウェイトに比例する。

示されるが、広い範囲で同じようなウェイトになっていることがわかる。

そこで、母関数を直線とした場合を考える。図4のデータから回帰して係数を求めれば、 $r(p,i)=0.039d_{pi}+0.0094$ となった。さらに定数項の影響が大きい（傾きが同じまま定数項を0（無限大になるのを避けるため 100 万分の一とした）にした場合で作成したベクトル場が図7である。またデータない位置 p のベクトルは信頼性が低いので、距離 0.5 以内にデータ

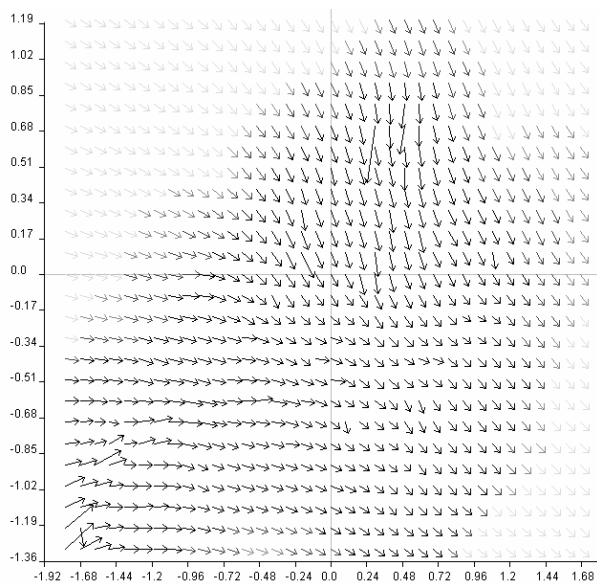


図7 直線を母関数とする場合のベクトル場
[(a)一人あたり→横軸, (b)GNP 1 ドルあたり→縦軸]

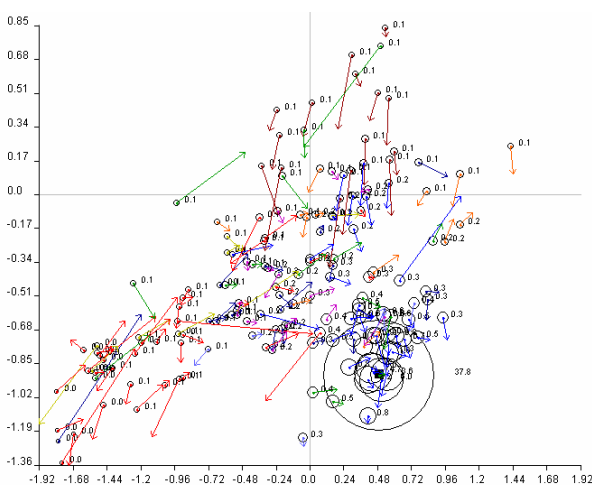


図8 図7の母関数での、(0.5,-0.9) でのベクトル推定値を求めるときのウェイト。数値は 100 分率、円の面積がウェイトに比例する。

がない場合は薄い色で、データの数が 1～5 の場合は灰色でベクトルを描いた。図7には図5 同様の点 P を日本付近としたときのウェイトを示す。

図7では(a), (b)二つの指標が非常に小さい値の場合は上昇傾向にあること, GNP1 ドルあたりの消費が多い国家はそれを急速に減らす傾向にあることがわかる。全体的な流れとしては図で右下方向へ変化する傾向が見えるが、多くの先進国が位置している右下でもまだまだ経済的になりながら（下へ）、一人あたりでは多くのエネルギーを使う傾向（右へ）にあることが全体的なベクトル場として顕わにできた。

図7の場合でのウェイト(図8)は近い位置に大きく、そうでない位置については非常に小さくなっている。

4. まとめ

まだ中間段階だが、ベクトル場を作成して初段階の吟味までおこなった。図7のほうが著者の直感に合っているが、図5と図7のどちらが適切かは本質的にはより検討が必要と考える。また他の母関数を使った場合の比較も検討課題である。さらに、“通常クリギング”など地球統計学で一般的に使われている手法による結果も今後比較していきたい。

今回はすべての国をまとめてベクトル場を作成したが、各国家・地域はそれぞれの政体や環境による影響を受けており、図2の上の位置だけで説明できるものではない。そのため、政体別や地域別でのベクトル面を吟味していきたい。また国際連合のデータは 1980 年まで得ることができるので、ベクトル面の変化も分析する予定である。

参考文献・資料

- 1) United Nations, Demographic Yearbook, http://unstats.un.org/unsd/cdb/cdb_simple_data_extract.asp.
- 2) 間瀬茂・武田純(2001)『空間データモデリング』共立出版。
- 3) 三浦英俊(2008)「普遍クリギングを用いた最短旅行時間予測」, オペレーションズリサーチ, vol.28, pp.173-178.