

## ■ 研究論文 ■

## エネルギーデータベースの構築と電力消費量の将来予測

## Development of Energy Database and Estimation of Future Electric Consumption

若菜晴美\*・千野耕一\*\*

Harumi Wakana Kooichi Chino

(原稿受付日1999年10月28日, 受理日2000年2月9日)

## Abstract

Recently energy, economic, and industrial data, which are provided by the many international organizations, are published as a form of electronic products. Then, a new relational database was developed to store 1060 tables (16 millions data). A few intermediate tables were made to remove the difference of definition between international organizations. Parameters for estimating energy consumption in the future can be evaluated by analyzing data which are selected from the database.

The electric power consumption of each nation is estimated until 2020 using this energy database. The electric power consumption per person and the economic growth rate of each country are expressed as the function of GDP which is modified by the purchasing power parities of NBER. The developed computer code is able to evaluate the industrial structure effect of each country. The validity of the code was studied by comparing the past electric power records of OECD and Japan with calculated results. The calculated future electric power consumption of china and Asia region agrees with APERC's estimation.

## 1. 緒言

エネルギーや環境, 経済に関する各種のデータが国際機関からCD-ROM等の電子出版の形式で提供されるようになった。これらのデータでRDB (Relational Data Base) 構造の単一データベースを構築して, データ相互間の結合や統計分析する機能をデータベースに付与した。

従来, エネルギー需要等の将来予測では, 経済成長率等の主要パラメータを指定して, 評価が行われてきた。本報ではデータベースと将来予想プログラムを結合することにより, 従来の実績データから種々の条件でデータ抽出を行い, それを統計分析して評価パラメータを設定し, 将来予測プログラムと連動させた。

## 2. エネルギーデータベースの構築

## 2.1 エネルギー関連データの結合

国連や世界銀行, OECD (Organization for Eco-

nomical Cooperation and Development) 等の国際機関が電子出版の形で発行しているエネルギー関連の14種類のデータを, 単一のRDB構造のデータベースに収納した。データは全て二次元の表形式で整理しており, 表の総数は1060, データ容量は225MB, データ数は1,640万点になる。収納したデータの例として表1に示すのは, 電力消費量の将来予測に使用した4種類のデータである。

国や地域の分割, 資源の種類等の定義が発行機関により異なるので, 全てのデータを統一的に扱うために, それぞれの種類に応じた標準的な分割への変換テーブルを作成した。また, 1) 任意データを抽出する機能, 2) テーブル構造の変換機能, 3) 表形式で入力されているデータをグラフ化して表示する機能をデータベースに設けた。

## 2.2 電力消費量予測プログラムとの連動

エネルギー需要について国内では(財)日本エネルギー経済研究所<sup>1)</sup>や(財)電力中央研究所<sup>2), 3)</sup>等の機関が研究を進めており, エネルギー経済学の観点から分析を行っている。何れの方法も評価対象の国や目的に合わせて,

エネルギー・資源学会第18回研究発表会(1999年6月9・10日)にて発表

\* (株)日立製作所 電力・電機開発研究所火力・機械第一部  
火力システムグループ

\*\* " " " " 主任研究員

〒319-1221 茨城県日立市大みか町7-2-1

表1 データベース内容

発行所	分野	タイトル	内容	国数	期間	表数	データ点数 [万点]	情報 [MB]
United Nations	人口	Annual Population 1950-2050	国別の人口推移の実績と予想(高・中・低成長ケース)	258	1950～2050	4	5.5	0.5
World Bank	経済	World Bank Indicators	国別の730種の経済情報	222	1960～2003	15	713.0	63
NBER	経済	Penn World Tables	購買力平価を含む29の経済指標	152	1950～1992	2	19.0	1.5
OECD	エネルギー	Energy Statistics of OECD Country	OECD加盟国のエネルギー統計. 58品目の生産, 転換, 消費状況	25	1960～1994	50	54.0	4.5
		Energy Statistics of Non-OECD Country	OECD非加盟国のエネルギー統計. 同上	101	1971～1994	145	57.0	12.5
その他		10種類		—	—	844	791.5	143
合計						1,060	1,640	225

設定は入力パラメータの値を直接操作することで調整する。また、その数値を決定するためには調査や分析が必要であるが、データベースと分析手法とは必ずしも連動していなかった。

本手法では、パラメータを算出するためのデータベースと統計分析プログラム、予測プログラムとを結合させた。つまり、評価因子を直接操作するのではなく、値を決定するために行う統計分析の段階において対象国の組み合わせ、データの期間、補正の方式などを入力条件とし、統計分析から値を算出し自動的に予測に直結させるようにした。

### 3. 電力消費量の予測方法

#### 3.1 計算フロー

本報では任意の国や地域に対し、エネルギーの内で経済成長とともに伸びが著しい電力消費量の予測を、2020年まで実施した。この評価の特徴は以下の2点である。

1) 各国の経済成長率は一人当たりのGDP (Gross Domestic Product) に依存すると想定するが、過去のデータを分析する時にGDPを購買力平価 (PPP: Purchasing power parities) で補正した。

2) 国別の産業構造の違いを電力消費量に反映させるために、電力の最終消費先を19分野に分割し、分野ごとに一人当たりのGDPに対する電力消費量の予測式を作成した。

将来の電力消費量を国ごとに予測する計算手順は、以下の通りである。

1) 一人当たりのGDPに対応した国全体の経済成長率を算出し、次年度の国全体のGDPを予測する。

2) 国連が予測した国ごとの人口増加率を考慮して、

次年度の一人当たりのGDPを求める。

3) 一人あたりのGDPを基に、消費分野ごとの電力消費量を予測し、これを積算して国全体の電力消費量を求める。

4) 上記を1年ごとに算出し、繰り返すことで2020年までの電力消費量を予測する。

#### 3.2 計算パラメータ

##### (1) 人口

国連は2050年までの各国の人口を性別、年齢別、都市と農村別に、高成長と中成長、低成長の3種類の成長率で予測している。今回の電力消費量の予測では、図1に示すように各国の総人口の中成長ケース<sup>4)</sup>を評価に使用した。図1に示したアジア地域の中成長ケースにおける人口予測では、現時点では中国とインドネシアについて3番目の人口がある日本は、ほぼ人口の増加が抑制され定常状態になっている。一方、フィリピンとベトナムの人口増加は今後も継続する見込みであり、2040年迄には日本の人口を上回ることが予測されている。

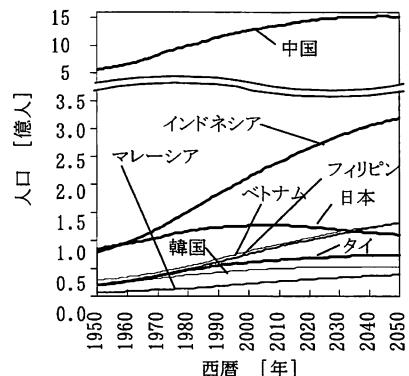


図1 アジア地域の人口予測 (国連: 中成長ケース)

(2) 電力消費量

世界銀行が提示している国ごとの実質GDPと国連の人口、OECDの電力消費量<sup>5),6)</sup>から、一人当たりの電力消費量を実質GDPで整理した1960~1993年のデータを、図2(a)に示す。実質GDPとは、名目GDPを物価上昇で補正したものである。中国等の一人当たりの実質GDPが低い国では、OECD各国のデータを単純に外挿した値と比較して、GDP当たりの電力消費量が多い。この原因として、GDPが低い国では為替レートで評価した物価と実際の値との開きが大きいためと推定した。

そこで、米国のNBER (National Bureau of Economic Research) が提供している購買力平価<sup>7)</sup>

で、GDPを補正した結果を、図2(b)に示す。購買力平価で見直すと、1990年で中国の一人当たりのGDPは3.8倍、タイは2.5倍大きくなり、GDP当たりの電力消費量における先進国との差が小さくなった。また、先進国間でも購買力平価で補正した方が、国毎の差が縮まったため、各国の電力消費量は実質GDPよりも購買力平価で補正したGDPに比例する傾向が強いことが分かった。そこで本報告において、GDPは購買力平価で補正した値を使用した。

(3) 経済成長率

図3に購買力平価で補正した一人当たりのGDP<sup>8)</sup>に対する国全体の経済成長率の実績を示す。前年との比較に基づく成長率で表すと、各年における変動の影

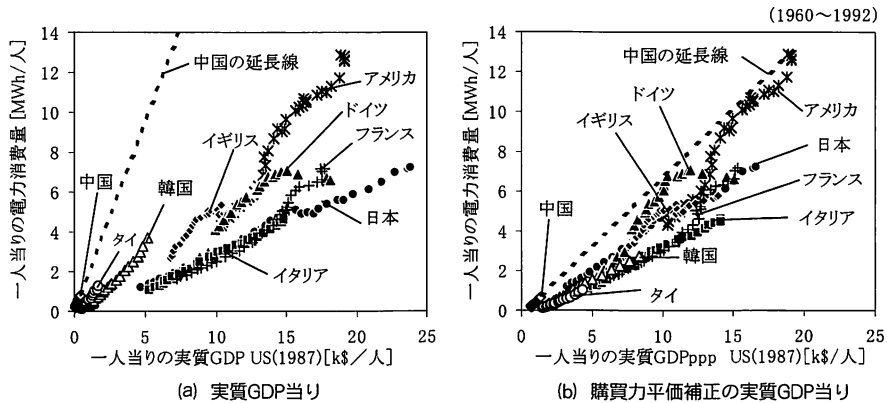


図2 一人当たりの実質GDPと電力消費量

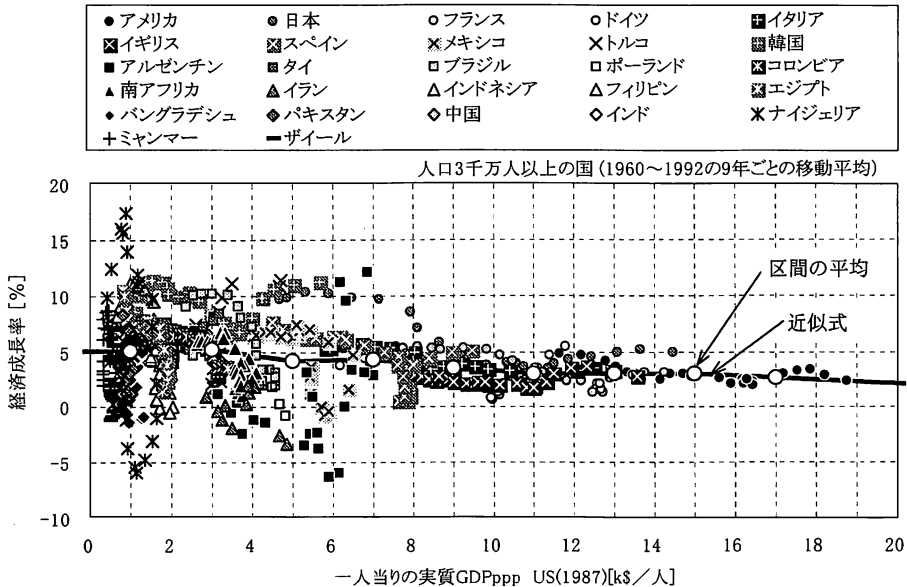


図3 一人当たりの実質GDP PPPと国全体の経済成長率

響が大きく、全体の傾向がつかみにくい。そこで、図3では基準年の前後各4年、計9点のデータを利用した移動平均で経済成長率を求め、1960年から1992年までの値を表示した。基となるデータの範囲は、1992年時点で人口が3千万人以上の国々のものを使用した。経済成長率を一人あたりではなく国全体で評価したのは、人口が急激に増加している国々のGDPが人口に比例して急成長するとは限らないと考えたためである。そこでGDPに対する経済成長率を一人あたりで評価し、図3に示した国全体の経済成長率と比較した結果、標準偏差は国全体で整理した方が小さかった。

経済成長率はGDPの範囲によって違いが大きいのので、将来予測に用いる成長率の近似式は、一人あたりのGDPの範囲と1次式で与える方式を採った。本報告では2,000US\$間隔に分割し平均成長率を算出して、各点を1次式で結合した。データの無い1,000US\$未満と18,000US\$以上の区間は隣接する区間の近似式を延長して適用できると想定した。

(4) 分野ごとの電力消費

OECD提供のエネルギー統計(1965~1992)を用いて、OECD加盟国全体での電力消費量を最終消費先別に19分野に分割し、各消費分野における国民一人当たりの電力消費量を整理した。結果のうちで全体の8割以上を占める9分野を図4に示す。国別に見ると産業構造が異なる結果、必要な材料と製品に過不足が生じて、貿易で調整することになる。したがって、OECD全体で見れば貿易の影響をほぼ除去でき、一人当たりが使用した電力消費量の伸びの傾向が把握出来ると思った。

$$W = \sum_{k=1}^m \beta_k \cdot W_k \dots\dots\dots (1)$$

$$W_k = f_k \left( \frac{G_n}{P_n} \right) \cdot P_n \dots\dots\dots (2)$$

$$f_k = a + bx^{\frac{1}{2}} + cx [x_1, x_2] \dots\dots\dots (3)$$

$$f_k = a + cx [x_3, x_4] \dots\dots\dots (4)$$

- 記号 G : GDP
- P : 人口
- W : 電力消費量
- x :  $G_n / P_n$
- $\beta$  : OECD平均に対する比率
- 添字 k : 消費分野
- m : 消費分野の分割数
- n : 年

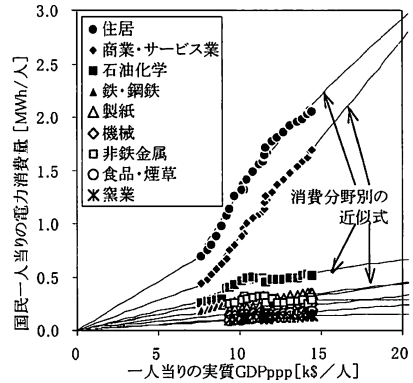


図4 消費分野別の電力消費量 (OECD加盟国全体)

図4の実線は本予測に使用した近似式である。予測において国全体の電力消費量Wは分野ごとの近似式で算出した電力消費量 $W_k$ に比率 $\beta_k$ を乗じて積算した(1)式で表す。 $\beta_k$ は国別の産業構造の違いを表したもので、近似式で求めた平均的な電力消費量に対する評価対象国の分野別電力消費実績であり、予測開始年の値が維持されると想定した。各分野での電力消費量 $W_k$ は一人当たりのGDPの関数である(2)式で求めた。ここで、図4の過去の実績を見ると、一般家庭での電力消費量をあらかず住居と石油化学、窯業等の分野では一人当たりのGDPの増加が進むと電力消費量の伸びが緩やかになる。一方、商業・サービス業、製紙、機械等の分野では一人当たりのGDPの増加に伴って電力消費量が1次式的に増加している。前者はGDPの増加に伴い技術革新が進むことで製造効率が上がり、電力消費の増加が緩やかになっていく分野である。後者は、技術革新が進むことで第3次産業の割合が大きくなり、第3次産業で必要となる製品を製造することで電力消費が伸びる分野である。そこで、前者は(3)式の形で表し、後者は(4)式のように一次式で近似した。また、OECD加盟国の実績の範囲よりGDPの低い範囲は最小点と0を直線で結び、 $a=0$ の(4)式を使用した。

商業・サービス業に代表される第3次産業や住居での消費量は、一般に製造分野が発達した後、経済成長がある程度進んでから発達すると考えられている。OECD諸国の過去の実績も図4に示すように、実績点を延長した予測式は、一次式で0点を通過せず、5~8,000US\$の範囲内で急激に伸び始めていることが分かる。分析プログラムでは消費分野ごとに一人当たりのGDPの範囲と近似式の種類、各係数をテーブル形

式で算出し、予測プログラムでは任意の領域で任意の予測式を使用できるようにした。

#### 4. 計算結果と検討

##### 4.1 予測手法の評価

OECD加盟国の中で電力消費量が多い米国と日本を取り上げ、電力消費量を消費分野毎に区分して、1970年を予測の開始時点として電力消費量を予測した。日本は分野の区分を1993年に変更しているの、予測は1992年まで行った。国全体の電力消費量は、共に13%の精度で一致した。ただし個別の消費分野で見ると、1970年頃で産業が成熟しつつある鉄鋼分野などでは、(4)式で成長を抑制する影響を考慮した以上に電力消費量の伸びが抑制されていて、1992年時点では予測の70%ほどの消費量になっている。日本の場合1970年の鉄鋼分野が消費する電力量は、国全体の16%であるの

に1992年には9%になっており、本報のように抑制効果を入れた方がより電力消費量の予測として妥当と考える。

したがって、予測期間が25年程ならば、消費分野ごとに区分して国全体の電力消費量を予測すれば、大きな誤差が生じないと考えられる。以上の結果から、本手法で中国や複数の特色がまとまったアジア地域の予測を行った。

##### 4.2 中国とアジア諸国の電力消費量の予測

中国とアジア地域（韓国、インドネシア、フィリピン、マレーシア、タイの合計）の2020年までの電力消費量を予測した結果を図6に示す。三角形で示したのはAPERC (Asia Pacific Energy Research Center)<sup>9)</sup>が2010年まで予測した値で、中国の値とはほぼ合致している。また菱形で示したのは、IEA<sup>10)</sup>が予測した中国の値である。中国の2020年における電力消費

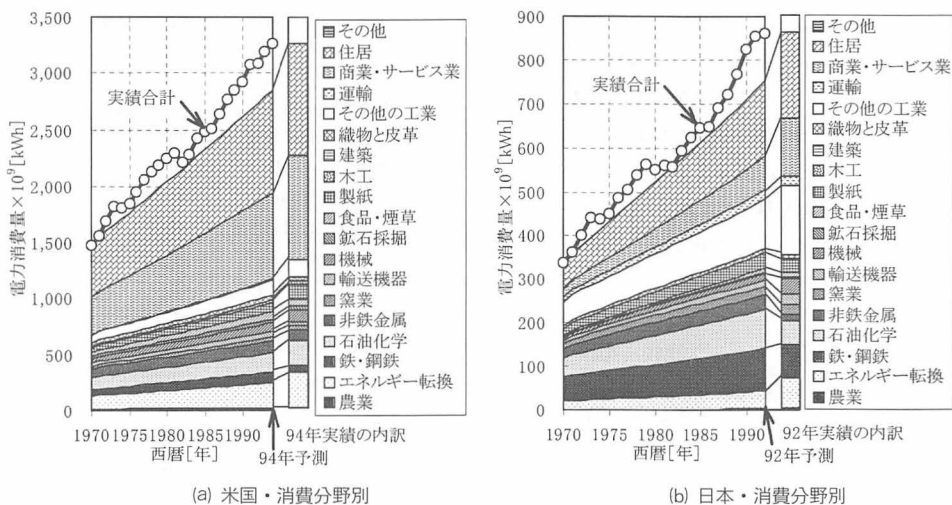


図5 過去の実績をもとにした現在の電力消費量の予測

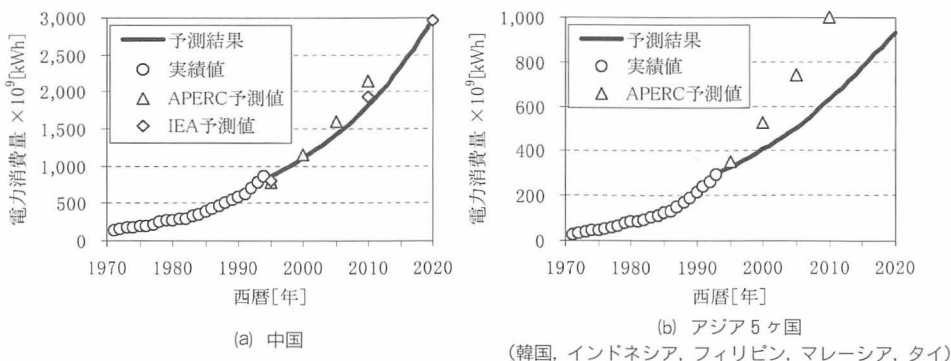


図6 過去の実績と予測値の比較

量は1995年の3.5倍に伸び、1995年の日本の電力消費量に比較して3倍に相当する。

アジア地域の合計で評価したのは、国別に予測すると各国の産業政策等により大きな差が発生することが予測されたためである。地域としてまとめると、相互の貿易により産業政策の変化を緩和できると考えた。中国は国土が広く、複数の特色のある地域で構成されているので、実行的には複数の国で構成されていると考えても良いので、1ヶ国だけで電力消費量を予測した。

アジア地域の電力消費量の伸びがAPERECの予測より少ないのは、APERECでは経済成長率を国別に4.1～5.6%の固定値で評価しているのに対し、本予測では図3の近似式により2.7～4.8の低い値を使用している為である。

#### 4.3 入力条件の影響評価

アジア地域を対象に、人口と経済成長の予測式が電力消費量に与える影響を評価し、比較した結果を表2に示す。人口については、標準ケースで使用した国連の中成長ケースに対し、1993年を基準として増減した分を1割減少させたデータを作成し、低成長ケースとした。経済成長については、図3で算出した近似式の経済成長率の前年比0%を基準として各区間の平均値を1割減少させ、それらを連結させた近似式を用いて低成長ケースとした。

表2 アジア5ヶ国合計のケース比較(2020年)

ケース	標準	人口低成長	経済低成長
人口 [億人]	5.13	5.00 (-2.7%)	5.13 (-0%)
GDP <sub>PPP</sub> [×10 <sup>12</sup> \$]	4.08	4.06 (-0.42%)	3.72 (-8.6%)
電力消費量 [×10 <sup>9</sup> kWh]	930	929 (-0.18%)	846 (-9.1%)

人口低成長ケースでは、2020年時点で標準ケースに対し人口は2.7%減少させた値を入力し、その結果、GDPは0.42%、電力消費量は0.18%減少に止まっている。経済低成長ケースでは、成長率は毎年の累乗で評価されるため変化が結果に大きく影響し、電力消費

量は標準ケースより9.1%減少する。

## 5. 結 言

国際機関が発行しているエネルギーと環境、経済に関する14種類のデータを集約した表形式で1,060, データ点数で1,640万点のエネルギーデータベースを構築した。データベースには元データ間で国等の定義の違いを補正する機能と、必要なデータを検索できる機能等を設けた。

このデータベースにより、分析対象の範囲を選択することで自動的に統計分析を行い電力消費量予測に反映させるプログラムを作成して世界の任意の国を対象に2020年までの電力消費量を予測した。中国とアジア地域の電力消費を予測した結果は、APERECやIEAの予測に近い値となった。

## 参 考 文 献

- 1) 松井賢一, 伊藤浩吉, 山田昭; 超長期エネルギー需給モデルによるシミュレーション分析—中国に関するケーススタディー, INSS J, No.2 (1995), 77-103.
- 2) 室田康弘ほか10名; エネルギー経済学の基礎理論 総説, 電力中央研究所報告, Y94002, (1994).
- 3) 熊倉 修ほか9名; 中期経済予測システムの開発と応用, 電力経済研究No.27, (1990).
- 4) UNITED NATIONS; The 1996 Revision Global population Estimates and Projections "Annual Populations 1950-2050", UNITED NATIONS (1996).
- 5) IEA; Energy Statistics of OECD Country, OECD (1996).
- 6) IEA; Energy Statistics of non-OECD Country, OECD (1996).
- 7) NBER; Penn-World Tables, Mark 5.6. An international panel 1950-1992., NBER.
- 8) THE WORLD BANK; WORLD \* DATA 1995 World Bank Indicators on CD-ROM #13324, (1995), THE WORLD BANK.
- 9) APERC; APEC Energy Demand and Supply Outlook, (1998), APERC.
- 10) IEA: World Energy Outlook 1998 Edition, (1998), OECD.
- 11) 若菜晴美, 千野耕一; エネルギーデータベースの構築と電力消費量の将来予測, エネルギー・資源学会 第18回研究発表会講演論文集, (1999), 73-76.