

夏季日本の家庭用エネルギー消費と熱帯の気候変動現象の関係

Tropical climate links to household energy consumption in summertime Japan

学籍番号 47-156654 渡邊 英樹
 主指導教員 Swadhin K. Behera 客員教授
 副指導教員 早稲田 卓爾 教授

(平成 29 年 1 月 31 日発表予定)

Keywords: 家庭用エネルギー消費, 気温, エルニーニョ・南方振動, インド洋ダイポール, 年々変動
 Keywords: Household energy consumption, Air temperature, ENSO, IOD, Interannual variability

1. 序論

1.1 背景

日本のエネルギー自給率は先進国の中でも 5% と著しく低く (Fig. 1), エネルギー資源の約 95% を海外から輸入している. そのため, 国内のエネルギー需要の予測は重要な課題である. 日本エネルギー経済研究所 (IEE) はエネルギー需要予測をオイル価格, 経済成長, 気温などを考慮して行っており, 気温の想定については, 過去 10 年の平均値を用いている [1]. しかし, 2010 年の異常な猛暑 [2] などにみられるように, 気温の変動が近年大きくなっているため, 気温のエネルギー需要への影響を正確に評価する必要がある.

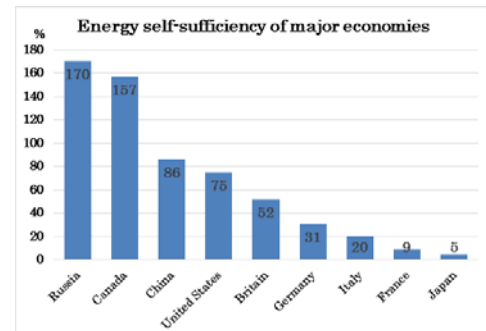


Fig. 1 Energy self-sufficiency of major economies in 2012.

気温の変動によるエネルギー消費の変動の原因は, 主にエアコンによる消費であるとされており [3], 家庭用エネルギー消費の約 26.3% をエアコンが占める. このため, 本研究では日本の総エネルギー消費の約 14.3% を占める家庭用エネルギー消費と気候変動の関係に着目した.

一方, 日本の気候に影響を与える熱帯の気候変動現象として, エルニーニョ/南方振動 (ENSO) やインド洋ダイポール [4] が知られている. しかし, これら気候変動現象が家庭用エネルギー消費の変動に及ぼす影響については未だよく分かっていない. そこで, 本研究ではエネルギー消費が高くなる夏季 (7-9 月) に注目し, 家庭用エネルギー消費の変動と熱帯の気候変動現象の関係を明らかにする.

1.2 本研究の目的

本研究の主な目的は, 以下の 2 点である.

- ① 日本における家庭用エネルギー消費と気候変数 (気温, 湿度 など) との関係を明らかにする.
- ② 熱帯の気候変動現象が①で得られた気候変数に与える影響について考察する.

2. データ及び解析手法

2.1 データ

本研究において使用したデータセットを Table 1 に記載する. 家庭用エネルギー消費には, 電力会社が提供している電灯電力需要実績月報 (電気事業連合会) を, 気温や湿度などの気候変数には, 気象庁が提供している月平均値を用いた. エネルギーとの関係を正確に評価するため, 気候変数は世帯数による加重平均を行った. 解析期間は 1971-2015 年の 7-9 月, 解析領域は家庭用エネルギー消費の多い関東地方と関西地方とした. また, ENSO の指標である Niño 3 は, アメリカ海洋大気庁より, IOD を表す指標 DMI は, JAMSTEC より入手した.

Table 1 Datasets used in this study.

Data set (analysis period: 1971-2015)	Physical quantity / Index
The Federation of Electric Power Companies of Japan (FEPC) Electricity Statistics Information [http://www.fepec.or.jp/english/library/statistics/index.html]	Household energy consumption in Tokyo electric power company's area and Kansai electric power company's area (Note: Aug data = mid Jul - mid Aug)
JMA observation data [http://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php]	Climate variables (Kanto region : Households weighted average of Tokyo, Utsunomiya, Maebashi, Tsukuba, ChiChibu, Kumagaya, Tateyama, Yokohama, Kofu, Mishima, Ajiro, Irozaki and Mito Kansai region : Household weighted average of Himeji, Kobe, Toyooka, Maizuru, Kyoto, Osaka, Wakayama, Nara, Hikone and Sionomisaki)
El Nino Southern Oscillation (ENSO) data [http://www.esrl.noaa.gov/psd/gcos_wgsp/Timeseries/Data/nino3.long.anom.data]	Monthly sea surface temperature anomalies
Indian Ocean Dipole (IOD) data [http://www.jamstec.go.jp/frcgcr/research/d1/iod/DATA/dmi.monthly.txt]	

2.2 解析手法

本研究では年々変動と着目するため、家庭用エネルギー消費データから長期トレンド、月平均気候値を抜いて、偏差を計算した (Fig. 2) . しかし、数十年規模の変動が見られるため、さらに9年の移動平均値を抜くことで年々変動を抽出した (Fig. 3) . 移動平均に用いた年数は抜いた後の期間の長さとその後の相関解析の結果を考慮し、9年とした。

また、重回帰解析により温度と湿度を合わせた指標を作成した。先行研究[4]で ENSO (IOD) は IOD (ENSO) にも影響すると報告されている。そこで、偏相関係数を計算することで、ENSO と IOD それぞれの影響を統計的に評価した。

3. 統計解析結果

3.1 季節変動

Fig. 4 に関東地方における家庭用エネルギー消費の月平均値とその標準偏差を示す。Figure 4 より月平均値と標準偏差は7-9月と12-2月でピークをとる。従って、本研究では夏季に注目するため、7-9月の平均値を夏季のデータとして用いた。

3.2 年々変動： エネルギー消費と気候変数

Fig. 5 に関東地方の夏季における家庭用エネルギー消費と気温の偏差を表す。期間全体で、エネルギー消費と気温の間には、非常に高い相関が見られた ($R = 0.80$) . また、Fig. 6 に関東地方の夏季における家庭用エネルギー消費と湿度の偏差を表す。エネルギー消費と湿度の間には負の相関が見られた ($R = -0.41$) . 一方で、降水量や風との相関は低かった (降水量: $R = -0.34$, 風: $R = 0.20$) .

家庭用エネルギー消費は気温や湿度と関係があると考えられるため、気温と湿度を合わせた指標である不快指数や重回帰解析で得られた新しい指標との相関関係も計算した。家庭用エネルギー消費と不快指数の相関関係 ($R = 0.79$) と重回帰解析により作成した指標との相関関係 ($R = 0.81$) はいずれも高い値となった。しかし、これらの値は気温のみの相関 ($R = 0.80$) とほとんど変わらなかった。従って、湿度が家庭用エネルギー消費に与える影響は比較的小さいものだと考えられる。

以上より家庭用エネルギー消費を予測する気候変数の指標として気温が良いことが示唆された。



Fig. 2 Time series of household energy consumption anomalies during Jul-Sep in Kanto region

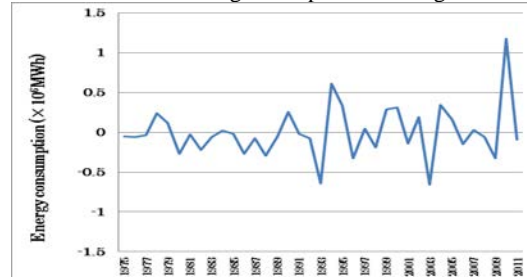


Fig. 3 Time series of household energy consumption anomalies after removing 9-yr moving average in Kanto

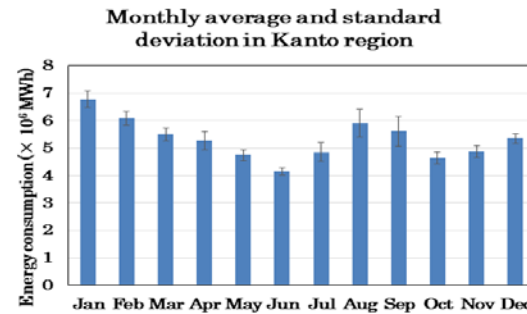


Fig. 4 Monthly average (blue bar) and its standard deviation (gray error bar) of household energy consumption in Kanto region

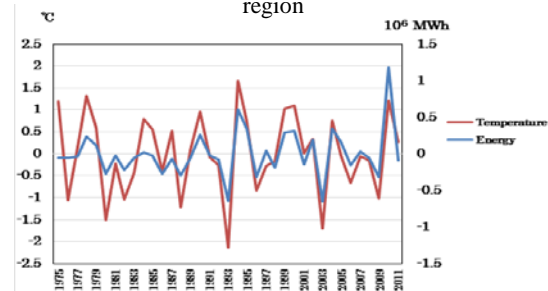


Fig. 5 Time series of temperature and household energy consumption anomalies during Jul-Sep in Kanto region.

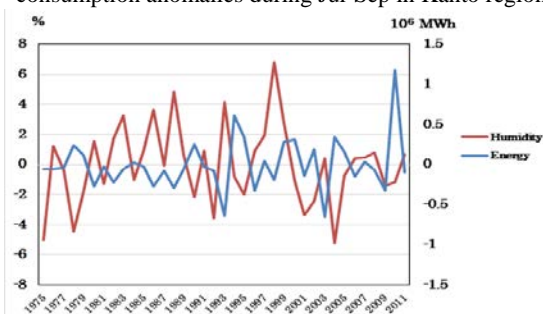


Fig. 6 Time series of humidity and household energy consumption anomalies during Jul-Sep in Kanto region.

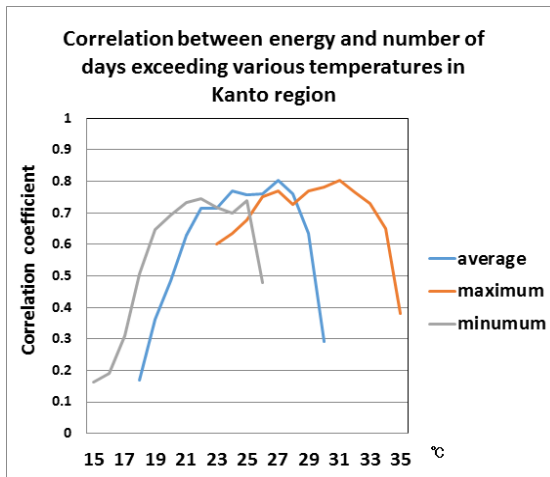


Fig. 7 Correlation coefficients between household energy consumption and number of days exceeding various temperatures in Kanto region

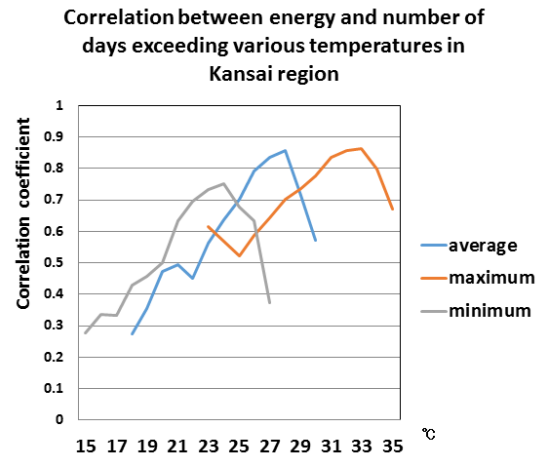


Fig. 8 Correlation coefficients between household energy consumption and number of days exceeding various temperatures in Kansai region

3.3 年々変動： エネルギー消費と様々な温度を超える日数

Figs. 7,8 に関東地方または関西地方における家庭用エネルギー消費と様々な温度を超える日数との相関係数を示す。関東地方においては、平均気温 27°C を超える日数との相関が高く、関西地方では 28°C を超える日数との相関が高かった。

Fig. 9 に関東地方における家庭用エネルギー消費と平均気温 27°C を超える日数との時系列を示す。期間全体を通して、2つの間にはかなり高い相関が見られた ($R = 0.81$) (関西地方: $R = 0.87$ 図略)。以上より、家庭用エネルギー消費を予測する指標として気温に加えて一定の温度を超える日数も有効であると示唆された。

また、関西地方は関東地方よりもピーク値が 1-3°C 高かった。これは関西地方の方が関東地方に比べて平均気温が高いためであると考えられる (図略)。また、関東地方において 22°C を超える日数の変動はほとんど 27°C を超える日数の変動で説明ができるため、Fig. 7 において関東地方ではフラットな形となっている。一方で、関西地方では 23°C を超える日数の変動が 28°C を超える日数の変動と大きく異なるため、Fig. 8 においてシャープな形になっている。

4. 気温の変動における熱帯の気候変動の役割

次に、エネルギー消費に関係がある気温と熱帯の気候変動現象の関係について調べた。Fig. 10 に関東地方における気温と Niño 3 の偏差を、Fig. 11 に気温と IOD の偏差を示す。気温と Niño 3 の間には相関関係はあまり見られず ($R = -0.27$)、気温と IOD の間にも相関関係は見られなかった ($R = 0.11$)。しかし各々の年を見ると、例えば 1994 に ENSO は発生しておらず、IOD は発生したため気温は高くなった。一方 1997 年に Niño 3 の値は高いにも関わらず気温は平年通りである。1997 年は同時に IOD も発生しており、IOD の指標も高かった。したがって、ENSO と IOD は互いに影

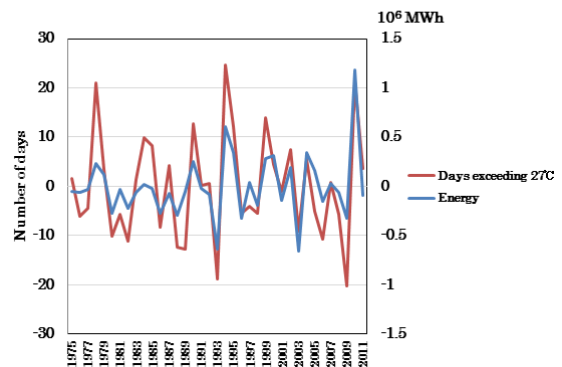


Fig. 9 Time series of household energy consumption anomalies and anomalous number of days exceeding 27°C in Kanto region

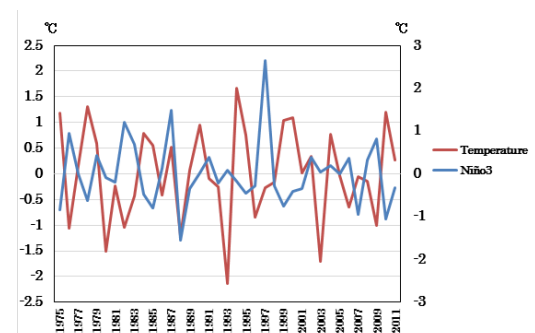


Fig. 10 Time series of Niño 3 index and average temperature anomalies in Kanto region

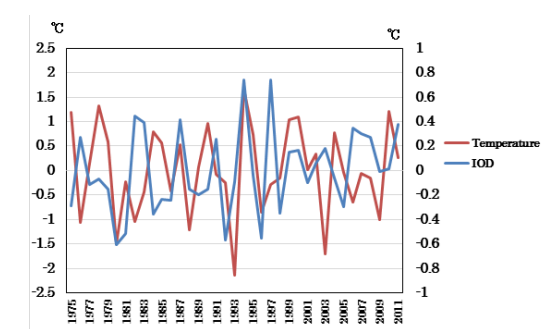


Fig. 11 Time series of IOD index and average temperature anomalies in Kanto region

響を及ぼしあっているものと考えられる。Table 2 に熱帯の気候変動現象と気候変数との相関係数を、Table 3 に偏相関係数を示した。ENSO と IOD 各々の影響を取り除いた偏相関係数の値は単純相関係数の値より高くなっている。これは ENSO と IOD が互いに影響を打ち消し合っていることを意味する。また Table. 3 において関東地方の気温と ENSO の相関係数が関東地方よりも高く、関西地方の方が関東地方に比べて ENSO の影響を受けやすいということが示唆された。

Table 2 Simple correlation coefficients with tropical climate modes.

Simple correlation	Kanto	Kansai
Niño3 vs temp(ave)	-0.27	-0.36
Niño3 vs number of days(ave)	-0.28(exceeding 27°C)	-0.28(exceeding 28°C)
Niño3 vs Hours of sunshine	-0.20	-0.21
Niño3 vs discomfort index	-0.27	-0.39
Niño3 vs original index	-0.27	-0.34
IOD vs temp(ave)	0.11	0.08
IOD vs number of days(ave)	0.28(exceeding 27°C)	0.17(exceeding 28°C)
IOD vs Hours of sunshine	-0.01	0.13
IOD vs discomfort index	0.15	0.07
IOD vs original index	0.11	0.07

Table 3 Partial correlation coefficients with tropical climate modes.

Partial correlation	Kanto	Kansai
Niño3 vs temp(ave)	-0.39	-0.50
Niño3 vs number of days(ave)	-0.53(exceeding 27°C)	-0.45(exceeding 28°C)
Niño3 vs Hours of sunshine	-0.23	-0.34
Niño3 vs discomfort index	-0.42	-0.54
Niño3 vs original index	-0.40	-0.47
IOD vs temp(ave)	0.28	0.30
IOD vs number of days(ave)	0.53(exceeding 27°C)	0.38(exceeding 28°C)
IOD vs Hours of sunshine	0.10	0.28
IOD vs discomfort index	0.34	0.31
IOD vs original index	0.29	0.28

5. 十年規模変動

ENSO の振る舞いは 10 年の時間スケールで異なると先行研究[5]で報告されている。そのため、熱帯の気候変動現象と家庭用エネルギー消費の関係の 10 年規模変動を調べた。Figure 12 に関東地方における熱帯の気候変動現象の指標と家庭用エネルギー消費の 10 年移動相関係数を示す。図から、1980 年代前半は Niño 3 と負の相関が見られたが、1990 年代から IOD 指数との相関係数が 0.5 を超え IOD との関係が強くなっていることが分かった。一方で、2000 年代になると Niño 3 との負の相関が高くなり、ENSO との関係が IOD に比べてわずかに強いことが分かった。以上の解析から先行研究で報告されているように、ENSO や IOD との関係性が年代ごとに異なることが示唆された。

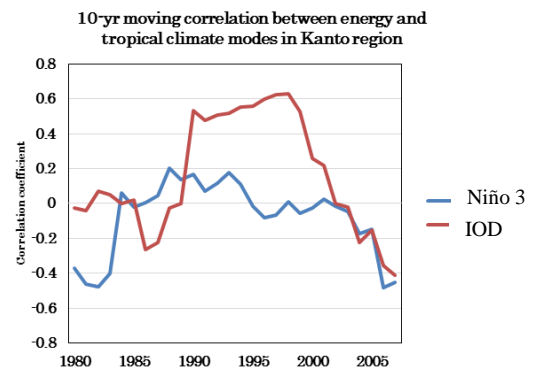


Fig. 12 The monthly typhoon climatology around Japan during 1951-2014

6. 結論

- ① 家庭用エネルギー消費と気温との間には他の気候変数に比べて高い相関関係（関東： $R = 0.80$ 、関西： $R = 0.84$ ）が見られた。また、不快指数との相関関係（関東： $R = 0.79$ 、関西： $R = 0.81$ ）や気温と湿度を合わせた新たに作成した指標との相関係数（関東： $R = 0.81$ 、関西： $R = 0.85$ ）は気温のみの相関係数とほとんど変わらなかった。従って、家庭用エネルギー消費の変動は気温により十分に説明できることがわかった。
- ② 家庭用エネルギー消費と様々な温度を超える日数との間にも高い相関関係が見られた。特に 27°C を超える日数との相関（関東： $R = 0.81$ ）、28°C を超える日数との相関（関西： $R = 0.87$ ）が最も高かった。従って、家庭用エネルギー消費を予測する指標として、一定の温度を超える指標が良いと示唆された。
- ③ 気温と熱帯の気候変動現象との相関関係はあまり見られなかったが、ENSO と IOD が相互に及ぼす影響を排除したとき、ENSO と IOD それぞれによる影響は大きかった。また、関西地方のほうが関東地方に比べて ENSO の影響を強く受けることが示唆された。
- ④ 10 年規模変動に関して、1980 年代前半は Niño 3 と負の相関が強く、1990 年代から IOD 指数との相関係数が 0.5 を超え IOD との関係が強くなり、2000 年代になると Niño 3 との負の相関が高くなり、ENSO との関係が IOD に比べてわずかに強いことが分かった。

参考文献

- [1] Suehiro S. *IEEJ* (2006): The 393rd Forum on Research Works Report Summary.
- [2] Takaya A., Y. Morioka, and S.K. Behera. *Sci. Rep.* 4 (2014): 5655.
- [3] Michael J.S., and Y.J. Huang. (2008): Synthesis and Assessment Product 4.5 Report by the U.S. Climate Change Science Program And the Subcommittee on Global Change Research.
- [4] Saji N.H., and T. Yamagata. *Clim. Res.* 25 (2003): 151-169.
- [5] Weng, et al. *Clim. Dyn.* 29 (2007): 113-129.