東洋大学の4箇所のキャンパスにおけるエネルギー消費量に関する調査研究
STUDY ON ENERGY CONSUMPTION AT FOUR CAMPUSES OF TOYO UNIVERSITY

永峯 章*, 高草木 明**, 成實悠樹***, 吉野大輔****

Akira NAGAMINE, Akira TAKAKUSAGI, Yuuki NARUMI
and Daisuke YOSHINO

This study aims to provide basic data for energy management at university campus. Investigating building maintenance logs at each campus of Toyo University, effecting factors on energy consumption are examined with multiple regression analysis. It reveals that the explanatory variables are outer temperature, number of student, duration of school term days and total floor space. This analysis shows each impact of the explanatory factors on the energy consumption as the dependent variable. This paper also compares energy consumption at 4 campuses.

Keywords: University, Campus, Energy Management, Energy Consumption, Multiple Regression Analysis

大学, キャンパス, エネルギー管理, エネルギー消費量, 重回帰分析

はじめに

建物運用における省エネルギー推進のためには、個々の建物でのエネルギー消費量の実態を把握し評価することが極めて重要である。

多くの建物での光熱水の調査結果から、平均値としての原単位を求める研究は長年にわたって数多くの有用なデータを提供してきた¹⁾。光熱水原単位を利用する業務の一つは、個々の建物におけるエネルギー管理である。しかし、月間あるいは年間のエネルギー消費実績値を評価するための基準値としては原単位では不足である。

高草木²⁾は建物運営管理におけるエネルギー消費量の妥当性の評価は、エネルギー消費実績に説明がつくかどうかであるとして、6件のエネルギー源が電気だけの中小賃貸事務所建物の長期的な電気消費量の記録に基づき、電気消費量の変動要因を挙げ、これらに対応する説明変数を検討し、電気消費量を目的変数とする重回帰により、それぞれの変動要因の影響を分析した。これにより既存建物において過去の実績から管理基準値（当該建物の諸事情、諸特性に対して標準的な電気消費量）を求める方法を示し、この分析の過程において、建物の使われ方により電気消費量が受ける影響の実態例を提示した。

また、小松と高草木³⁾とは、地域熱供給を受けている延床面積25,462m²の中規模事務所建物における14年余の熱使用量の記録により、重回帰分析によるエネルギー管理への基礎資料提供を目的とした調査研究を行っている。

このような研究は、調査事例を増やすことが重要であり、また、調査対象をエネルギー消費特性の異なる様々な用途の建物に拡大してゆくことが課題である。

日本には全国に773の大学（平成21年度文部科学省）があり、キャンパスは大方が大規模施設であるから省エネルギー努力が注がれることの効果は大きい。夏（8月、9月）と春（2月、3月）に長期の休暇がある。また、キャンパス内での建物の増改築や学生数の変動も多い。これらはエネルギー消費特性に特殊な影響を与えていることは明らかである。大学キャンパスのエネルギー消費の実態や特性を明らかにすることは意義が大きいと考えられる。

大学キャンパスはファシリティマネジメント（FM）の対象として関心が持たれ、関連する報告も増えている⁴⁾。その中でエネルギー消費についても触れられていることが多い。また、新規性の高い設備システムを導入したキャンパスにおいて、実測データによりその効果を検証した事例の報告もある^{5) 6)}。これらの他、大学キャンパスのエネルギー消費量に関する調査の報告もいくつか見られる^{7) ~13)}。しかし、大学キャンパスのエネルギー消費量に影響する要因について分析した既往研究は見当たらない。著者らは、著者らが所属する東洋大学の4箇所のキャンパスのエネルギー消費に関する長期の記録を調査し、これに影響を与える要因を検討して重回帰分析を行った。

本調査研究は、説明変数とした要因それぞれの、目的変数であるエネルギー消費量への影響の大きさを明らかにし、またキャンパス間でのエネルギー消費についての比較を加え、エネルギー管理への基礎資料を提供することを目的とする。

1. 調査主旨と調査概要

建築設備の運転管理におけるエネルギー消費量の管理の重要性は

* 東洋大学理工学部建築学科 講師
** 東洋大学理工学部建築学科 教授・博士(工学)
*** 安藤建設株式会社
(研究当時 東洋大学工学部建築学科)
**** 東洋大学環境デザイン専攻 博士前期課程

Instructor, Department of Architecture, Faculty of Engineering, Toyo Univ.
Prof., Department of Architecture, Faculty of Engineering, Toyo Univ., Dr. Eng.
Ando Corporation
(Then: Student, Toyo Univ.)
Graduate Student, Toyo Univ.

広く認識されるところであり、空調設備に対しては中原らによるBOFDDなどの管理手法が提案されている^{14) 15)}。しかし、実際の保全現場におけるその実態を見ると、運転シミュレーションとの対応等によりエネルギー消費実態の精密な分析を行い、問題点を明確に把握するといった高水準な管理の実現性は遠いことが感じられる。保全現場に時間的・技術的余裕があったとしても、妥当なエネルギー消費量を正確に求めるための建物運用に関わる諸条件、諸事情を正確に把握することは極めて難しいから、運転実績の高水準な評価は容易でない。

現状では、エネルギー消費量の計量も一般に十分な計測器が備わっていない。エネルギー使用量を詳細に把握するための系統別計測器の設置の重要性は、かねてより多くの設備技術者が指摘するところであるが、詳細な計測結果が当該建物経営にどの程度の利をもたらすかを明確に示すことは難しく、その実現は稀である。多数の計測器設置を前提とし、詳細な分析を行う管理方法の研究とは別に、実情を前提条件とし、エネルギー管理の改善を目指す努力も必要と思われる。

エネルギー管理の基本はエネルギー使用量が妥当かどうかの診断である。これを簡単に行う方法は管理基準値との対照である。保全現場でエネルギー消費量の実績を評価する簡易な方法として、当該施設の前年同月実績との比較と、他の多くの同種の建物の平均値(原単位)との比較が採用されていることが多い。しかし、エネルギー使用量には様々な変動要因があり、これらの有効性は薄い。

エネルギー消費量の妥当性の診断とは、消費量実績について説明がつくかどうかであると考えられる。本論文では、エネルギー消費量実態データに基づき、電気、ガス、重油、灯油消費量の変動要因を挙げ、これらに対応する説明変数を検討し、電気、ガス、重油、灯油およびこれらを合計した1次エネルギー消費量を目的変数として重回帰により、それぞれの変動要因の影響の程度を分析するとともに、過去の実績から簡易に管理基準値(当該施設の諸事情、諸特性に対して標準的なエネルギー使用量)を求める方法を示している。これは、「当該施設の前年同月実績との比較」の方法を発展させたものである。一方、「原単位との比較」の手法の敷衍として第3節に延床面積あたり原単位と学生数あたり原単位の比較を加えて、キャンパス間のエネルギー消費量比較の結果を示している。

調査対象の東洋大学は、白山、川越、朝霞、板倉の4箇所にキャンパスを持つ総合大学である。現在(2009年)、9学部が置かれている。各キャンパスの概要を表1に示す。白山第2キャンパスは対象外とする。各キャンパスの建物の空調方式を表2に示す。

以降、「白山キャンパス」は「白山」というように、「キャンパス」を省いて設置されている地名のみで表記する。

各キャンパスの電力、ガス、重油、灯油の消費量の調査を行い、得られたデータの期間を表3に示す。白山、川越、朝霞、板倉は電力とガスとを使用している。ガスについては、白山は都市ガス、朝霞は都市ガスとLPガス併用、川越、板倉はLPガスである。油については、川越は重油、朝霞は灯油である。

2. エネルギー消費量の分析

2. 1 分析の方針と説明変数

エネルギー消費量は月間の消費量を対象とし、これを目的変数と

表1 東洋大学各キャンパス概要

白山第1キャンパス 文系学部	東京都文京区白山
	文学部／経済学部／経営学部／法学部／社会学部／イブニングコース(第2部)／大学院
	1号館～6号館
白山第2キャンパス (対象外)	東京都文京区白山
	専門職大学院(法科大学院)／大学院
川越キャンパス 理系学部	A棟～D棟
	埼玉県川越市鯨井
	工学部／大学院
朝霞キャンパス 文系学部＋理系学部	1号館～6号館、図書館・メディアセンター、各種実験棟、福利厚生棟、その他
	埼玉県朝霞市岡
	ライフデザイン学部／大学院
板倉キャンパス 文系学部＋理系学部	講義棟、情報実習棟、研究管理棟、大学院・研究棟、総合体育館、コミュニティセンター
	群馬県邑楽郡板倉町
	国際地域学部／生命科学部／大学院
	1号館～3号館、図書館、食堂棟、研究棟

表2 空調システム

白山	ガス焚二重効用吸収式冷温水発生機による中央方式、ウォールスルーベリメータ空調、パッケージ空調
川越	分散型パッケージ空調一部スチーム暖房
朝霞	ガス焚二重効用吸収式冷温水発生機による中央方式、分散型パッケージ空調
板倉	ガス焚二重効用吸収式冷温水発生機による中央方式、分散型パッケージ空調

表3 エネルギー消費量データの取得期間

白山	電気：1998年4月～2009年3月	132ヶ月
	ガス：2000年4月～2009年3月	108ヶ月
	ガスの2003年11月は異常値のため除外	
川越	電気：1997年3月～2009年3月	145ヶ月
	ガス：1997年3月～2009年3月	101ヶ月
	(ガスは1998年度1年間および2000年7月、2000年9月～2001年3月、2004年～2005年は記録欠落)	
	重油：2000年11月12月、2001年～2008年冬期、2003年4月除く	49ヶ月
朝霞	電気：2005年4月～2009年3月	48ヶ月
	ガス：2005年4月～2009年3月	48ヶ月
	灯油：2005年～2008年1, 2, 4, 7, 8, 11, 12月、2005年1, 2月除く	26ヶ月
板倉	電気：1997年3月～2009年2月	144ヶ月
	ガス：1997年4月～2008年12月	141ヶ月

したとき、説明変数として、キャンパス内建物延床面積、学生数、開講日数、平均外気温度を考えることとする。原単位は通常、延床面積あたりのエネルギー消費量であり、これを目的変数とすることも考えられるが、調査対象期間中、延床面積には少なからず変化があるため延床面積を説明変数の一つとした。川越の場合、学生数との相関性は低く独立変数たり得ることを確認した^{注1)}。

空調設備の運用では、大規模事務所ビルなどと異なり、明確に冷房と暖房とが切り替えられている。従って、分析は夏期(4月～10月)と冬期(11月～3月)とに分けて行うこととした。

各キャンパスの建物延床面積の月変動を図1に示す。図2は学生数の変動である^{注2)}。これは年度毎に一定としている。これらは表3の電気消費量データの取得期間に対応した期間のデータのみ示している。図3は年間の各月開講日数である。キャンパスによって相違がある。この図は川越キャンパスの場合である。開講日数は過去のデータが無く、毎年ほとんど変化がないのでキャンパス毎に毎年

図1 各キャンパスの建物延床面積の月変動

図4 各キャンパスの月間電気消費量の変動

図2 学生数の年度変動

図5 各キャンパスの月間ガス消費量(1次エネルギー換算)の変動

図3 年間の各月開講日数(川越)

表4 各キャンパスのガスの用途

白山	吸収式冷温水発生機, 厨房, シャワー室給湯, 実験用(一般教養の自然科学実験)
川越	厨房, スチーム暖房, 各種実験用
朝霞	吸収式冷温水発生機, 厨房
板倉	吸収式冷温水発生機, 厨房, シャワー室給湯, 生命科学系実験室植物機能センター

図6 各キャンパスの月間1次エネルギー消費量の変動

一定とした^{注2)}。

平均外気温度は、東京(白山)、さいたま市(川越)、所沢(朝霞)、館林(板倉)の気象庁のデータである。

2.2 エネルギー消費量

各キャンパスの月間電気消費量の変動を図4に示す。また、図5には、月間ガス消費量の変動を示す。各キャンパスのガスの用途を表4に示す。

電気、ガス、重油、灯油を1次エネルギーに換算し合計した月間1次エネルギー消費量の変動を図6に示す。

1次エネルギー換算には、

電気 : 9.970 MJ/kWh (昼間買電)
 都市ガス : 45.00 MJ/m^3 (都市ガス13A)
 LPガス : 104.1 MJ/m^3
 重油 : 39.1 MJ/m^3

灯油 : 36.7 MJ/m^3

の換算値を、対象期間中を通して適用した。

2.3 月間エネルギー消費量の重回帰分析

4箇所のキャンパスについて月間電気消費量、月間ガス消費量、

表5 有意な説明変数のみによる重回帰の結果（冬期月別）
（ ）内はデータ数，上段：標準偏回帰係数，下段：偏回帰係数

冬期月別電気消費量kWh／月				
	白山(63)	川越(70)	朝霞(21)	板倉(70)
建物延床面積	**0.5484 8.914373	**0.3761 13.09932	—	**0.6201 9.548889
学生数	**0.3618 17.48228	**0.3505 210.4053	**0.5784 21.97016	**0.3015 27.05848
開講日数	**0.2044 3448.403	**0.3596 4416.502	*0.3726 942.2718	**0.2903 2103.987
平均外気温度	—	**−0.5740 −17433.46	**−0.5239 −3424.454	**−0.2494 −4178.565
定数項	**−462203.3	**−1062213	**133890.9	**−58669.55
調査済みR ²	**0.8293	**0.8189	**0.5729	**0.8950
冬期月別ガス消費量MJ／月				
	白山(51)	川越(47)	朝霞(21)	板倉(69)
建物延床面積	—	—	—	**0.5159 0.261135
開講日数	**−0.6558 −997.8062	—	**−0.2346 −30.69759	**−0.3975 −94.83967
平均外気温度	—	**−0.7737 −253.0539	**−0.8689 −293.8368	**−0.4295 −232.6311
定数項	**41669.78	**7621.114	**5904.252	**2879.782
調査済みR ²	**0.4184	**0.5896	**0.8784	**0.7088
冬期月別重油(川越)／灯油(朝霞)消費量ℓ／月				
	白山	川越(49)	朝霞(18)	板倉
建物延床面積	—	**−0.4131 −2.713988	—	—
開講日数	—	—	**0.9431 299.8049	—
平均外気温度	重油使用なし	**−0.6844 −3521.686	—	重油使用なし
定数項	—	**242255.4	−69.39311	—
調査済みR ²	—	**0.5768	**0.8825	—
冬期月別1次エネルギー消費量MJ／月				
	白山(51)	川越(51)	朝霞(18)	板倉(69)
建物延床面積	—	**0.2795 95.97241	—	**0.6669 119.9473
学生数	**0.9054 417.6418	**0.3560 2057.657	**0.4598 235.5136	**0.2498 264.4192
開講日数	—	**0.3361 42370.08	**0.4854 16552.97	**0.1233 10454.56
平均外気温度	—	**−0.6602 −203031.2	**−0.7140 −62923.98	**−0.3367 −64819.99
定数項	284493.8	**−7492224	**1894067	−261613.3
調査済みR ²	**0.8161	**0.8296	**0.7340	**0.8915

図7 各説明変数の標準偏回帰係数の比較（冬期月別）

月間重油消費量、月間灯油消費量、月間1次エネルギー消費量それぞれを冬期と夏期に分けて目的変数とし、建物延床面積、学生数、開講日数、平均外気温度を説明変数とする重回帰を行った。この重回帰において有意とならなかった説明変数を除き、改めて重回帰を

行った。冬期月別の結果を表5に示す。

この表では、それぞれのキャンパス毎に標準偏回帰係数、偏回帰係数と定数項および自由度調整済み決定係数R²を示している。標準偏回帰係数の前に付した**と*は各説明変数の判定(**は1%有意、*は5%有意)であり、決定係数の前に付した**と*は重回帰式の検定結果である。重回帰式が有意とならなかった場合は「成立せず」としている。

冬期の月間電気消費量は、4カ所のキャンパスで重回帰式が得られた。影響の最も大きい要因は、白山では延床面積、川越では平均外気温度、朝霞では学生数、板倉では延床面積である。冬期月間ガス消費量は、4カ所のキャンパスで重回帰式が得られた。学生数はいずれのキャンパスでも棄却された。冬期の月間重油消費量は、川越と朝霞で重回帰式が得られた。川越では平均外気温度、朝霞では開講日数の影響が大きい。1次エネルギー消費量については、4カ所のキャンパスで重回帰式が得られた。白山では学生数、川越と朝霞では平均外気温度、板倉では延床面積の影響が最も大きい。

各説明変数の標準偏回帰係数の比較を図7に示す。延床面積、学生数、平均外気温度は、重要な変数である場合が多い。白山、朝霞、板倉で、開講日数はガス消費量において偏回帰係数が負の値をとる。これらの相関係数は負の値をとる。川越以外では冷暖房の一部に吸収式冷温水発生機を使用している。教室の冷暖房は多くが分散型パッケージ空調方式で、休暇中にも建物を使用する事務室などの空調系統に主にガスを使用している。このため、開講日数の少ない月には空調でのガス消費量が大きくなる。ガス消費量について開講日数と延床面積の偏回帰係数が負となるのは、以上のような事情によるもので多重共線性による矛盾ではない。

全ての説明変数による同様の重回帰を夏期の月間消費量について行い、その結果、有意とならなかった説明変数を除き、改めて重回帰を行った結果を表6に示す。総じて冬期より重回帰の精度が上がっている。

夏期の月間電気消費量は、全てのキャンパスについて有意な重回帰式が得られた。影響の大きい要因は、冬期の場合とほぼ同様である。夏期のガス消費量では、全てのキャンパスで有意な重回帰式が得られた。影響の大きい要因は、冬期の場合とほぼ同様である。白山と川越は決定係数が小さく実用上有効とはいえない。夏期の重油消費量では、朝霞で重回帰式が得られた。影響の大きい要因は、開講日数である。1次エネルギー消費量については、全てのキャンパスで有意な重回帰式が得られた。朝霞は、決定係数がやや小さい結果となった。各説明変数の標準偏回帰係数の比較を図8に示す。

ガス消費量については、朝霞以外は夏冬とも比較的回帰の精度が低い。これは川越と板倉では実験にガスを使用していることが大きな要因と思われる。白山の実験用ガス消費量は大きくない。白山のみ開講日数の偏回帰係数がマイナスの値となっている。白山の月間ガス消費量は図9に示すように2月と8月が消費のピークとなっており、年によるばらつきが大きい。主に夏季休暇中の事務室等の冷房でのガス消費のためと考えられる。

2. 4 冬期、夏期エネルギー消費量の重回帰分析

年間のエネルギー消費量について冬期と夏期の6ヶ月ずつに分けて、重回帰分析を行った。朝霞は年間ではデータ数が少ないので回帰が成立しない。説明変数は月毎の開講日数が除かれる。建物延床

表6 有意な説明変数のみによる重回帰の結果（夏期月別）
（ ）内はデータ数，上段：標準偏回帰係数，下段：偏回帰係数

夏期月別電気消費量kWh／月				
	白山(65)	川越(72)	朝霞(24)	板倉(72)
建物延床面積	**0.5601 10.63891	**0.3994 14.32621	**0.4192 94.19238	**0.8629 14.34828
学生数	**0.3017 16.67764	**0.2992 188.2474	—	—
開講日数	**0.4136 6079.608	**0.5249 5434.958	**0.7239 1868.742	**0.3372 2177.308
平均外気温度	**0.4034 18448.09	**0.8776 27279.86	**0.9570 7510.425	**0.3784 7189.693
定数項	** -959218.9	** -1800788	** -5017462	** -318161.5
調査済みR ²	**0.9043	**0.8412	**0.8319	**0.8636
夏期月別ガス消費量MJ／月				
	白山(54)	川越(51)	朝霞(24)	板倉(72)
建物延床面積	—	—	—	**0.8615 14.32481
開講日数	** -0.3347 -457.2086	**0.3885 37.57478	—	—
平均外気温度	**0.4678 1951.806	**0.7133 208.0481	**0.9026 378.9117	**0.2151 4086.371
定数項	-7381.791	-279.3627	** -5186.743	** -210607.6
調査済みR ²	**0.4712	**0.3349	**0.8062	**0.7760
夏期月別重油(川越)／灯油(朝霞)消費量ℓ／月				
	白山	川越	朝霞(8)	板倉
開講日数	重油使用なし	夏期使用なし	**0.9773 300.7423	重油使用なし
定数項			-22.11985	
調査済みR ²			**0.9475	
夏期月別1次エネルギー消費量MJ／月				
	白山(54)	川越(51)	朝霞(23)	板倉(72)
建物延床面積	—	**0.3279 107.6991	—	**0.8287 152.6895
学生数	**0.7528 461.3633	**0.3205 1772.391	—	—
開講日数	**0.2113 36878.43	**0.5271 51089.35	**0.6208 27856.79	**0.3071 21974.11
平均外気温度	**0.4974 265142.3	**0.9246 270219.1	**1.0427 142244.1	**0.4929 103779.5
定数項	** -6071511	** -1486787	** -1714867	** -3867922
調査済みR ²	**0.8184	**0.8031	**0.7557	**0.8599

図8 各説明変数の標準偏回帰係数の比較（夏期月別）

面積、学生数、平均外気温度を説明変数とした場合の結果から、説明変数が有意なものだけによる冬期6ヶ月の重回帰の結果を表7に示す。

電気消費量は、3キャンパスで重回帰式が得られた。影響の大きい要因は、白山と川越とも延床面積、板倉は学生数である。ガス消費量は白山と板倉で重回帰式が得られ、影響の大きい要因は学生数

図9 白山キャンパスの年度別月間ガス消費量

表7 有意な説明変数のみによる重回帰の結果（冬期）
（ ）内はデータ数，上段：標準偏回帰係数，下段：偏回帰係数

電気消費量kWh／season			
	白山(11)	川越(12)	板倉(12)
建物延床面積	**0.9893 14.30886	**0.9277 27.36275	—
学生数	—	—	**0.9280 82.50827
定数項	**−556355.5	**−1088461	*45122.22
調整済みR ²	**0.9763	**0.8467	**0.8472
ガス消費量MJ／season			
	白山(9)	川越(9)	板倉(12)
学生数	*0.7856 1.414654	成立せず ^a	**0.9117 1.567747
定数項	5563.485		**2541.327
調整済みR ²	*0.5624		**0.8144
重油ℓ／season			
	白山(9)	川越(9)	板倉(12)
建物延床面積	重油使用なし	**−0.9807 −5.131277	重油使用なし
学生数		*0.4343 55.38563	
定数項		112454.2	
調整済みR ²		**0.8546	
1次エネルギー消費量MJ／season			
	白山(9)	川越(9)	板倉(12)
建物延床面積	成立せず ^a	**0.8897 275.7479	—
学生数		—	**0.9245 952.597
定数項		**−10666897	738092.4
調整済みR ²		0.7656	**0.8402

図10 各説明変数の標準偏回帰係数の比較（冬期6ヶ月）

表8 有意な説明変数のみによる重回帰の結果（夏期）

() 内はデータ数, 上段: 標準偏回帰係数, 下段: 偏回帰係数

電気消費量kWh/season			
	白山(11)	川越(12)	板倉(12)
建物延床面積	**0.9617 16.23674	**0.6313 13.54363	**0.9269 14.26888
学生数	—	*0.4782 179.9721	—
定数項	**−612810.3	**−1024364	−117341.7
調整済みR ²	**0.9164	**0.7789	**0.8451
ガス消費量MJ/season			
	白山(9)	川越(9)	板倉(12)
建物延床面積	—	成立せず*	**0.8840 0.12521
学生数	**0.9425 1.748501		—
平均外気温	—		**0.429 596.5142
定数項	1169.888		−13452.6
調整済みR ²	**0.8724		**0.8350
1次エネルギー消費量/season			
	白山(9)	川越(9)	板倉(12)
学生数	**0.9774 493.77	*0.7088 2075.736	成立せず*
定数項	−34083.06	−2787318	
調整済みR ²	**0.9490	*0.4314

図11 各説明変数の標準偏回帰係数の比較（夏期6ヶ月）

図12 自由度調整済み決定係数

である。

重油消費量は川越で重回帰式が得られ、延床面積の影響が大きい。1次エネルギーは、川越と板倉で重回帰式が得られ、川越は延床面積が、板倉は学生数の影響が大きい。図10は、冬期6ヶ月の各説明変数の標準偏回帰係数の比較である。川越のガス消費量は回帰が成立しない。

夏期についての同様の重回帰の結果を表8に示す。

図11は、夏期6ヶ月の各説明変数の標準偏回帰係数の比較である。電気消費量は、3キャンパスで重回帰式が得られた。影響の大きい要因は、白山、川越、板倉で、延床面積である。ガス消費量は、白山、板倉で重回帰式が得られ、白山は学生数、板倉は延床面積の影響が大きい。1次エネルギー消費量は、板倉で重回帰式が成立しない。川越では、電気消費量は延床面積、学生数による重回帰式が得られ、ガス消費量については不成立である。板倉は電気とガスが、延床面積による重回帰式となり、ガス消費量は延床面積と平均外気温を説明変数とする重回帰式が得られた。

冬期・夏期月別重回帰及び冬期・夏期6ヶ月の重回帰において、有効として得られた回帰式の調整済み決定係数を図12に示す。白山、板倉の重油消費量と川越、朝霞の6ヶ月のガス消費量以外では、高い値となっており、今後のエネルギー管理の基準値として有用と考えられる。

3. キャンパス間のエネルギー消費量比較

3. 1 延床面積あたり1次エネルギー消費量での比較

図13は、延床面積あたりの月間1次エネルギー消費量の変動状況である。いずれのキャンパスでも漸増傾向にある。

白山は、川越、板倉に比べて延床面積あたりの月間1次エネルギー消費量が小さい。これは白山が文系学部のみであることが主要な原因と考えられる。朝霞は2005年4月以降、文系学部の教養課程が白山に移ったため、空室が多い。このため、延床面積あたりの月間1次エネルギー消費量は他に比べて著しく小さい。

3. 2 学生数あたり1次エネルギー消費量での比較

図14は学生1人あたり延床面積の変動である。白山キャンパスは都心部にあり、学生1人あたり床面積は最も小さい。朝霞は学生1人当たりの床面積が他に比べ著しく大きいのでこの図からは除いている。板倉キャンパスは1997年に設置されており、それ以来のデータである。当初2年間は大きな値となっている。

図15は学生1人あたり月間1次エネルギー消費量の変動状況である。白山は、文系学部のみで、実験でのエネルギー使用がごく僅かであること、また、学生1人あたり延床面積が小さいので建物スペースの利用にエネルギー効率の面から無駄がなく、学生1人あたりエネルギー消費量が小さいと考えられる。川越は工学部のみで、実験等でのエネルギー消費が大きい。安定的であるが1人あたり延床面積の増加に伴って漸増傾向を示している。

朝霞はキャンパス利用の変更により学生数が急激に減った2005年度には建物使用計画がこれに対応できず、学生1人あたりエネルギー消費量が著しく大きくなったが、2006年度ではある程度改善がなされていることが分かる。板倉では1997年度にキャンパスが新設され、当初は、建物は整備されていたが、これに見合う数の学生が居らず、その後、徐々に減少している。2008年には国際地域学部が白山第2キャンパスに移転した。このため、学生1人あたりのエネルギー消費量が急増している。

朝霞、板倉の状況は、学生数と建物スペースとの適合性、あるいは学生数に応じた既存の建物スペース使用計画が、エネルギー消費の合理化にきわめて重要であることを示唆している。これはファシリティマネジメントの必要性を示すものともいえる。

2002年度から2006年度の延床面積あたり、および学生1人あた

図 13 延床面積あたり月間 1 次エネルギー消費量の変動

図 14 学生 1 人あたり延床面積の変動

図 15 学生 1 人あたり月間 1 次エネルギー消費量の変動

図 16 延床面積あたり平均 1 次エネルギー消費量の比較

図 17 学生 1 人あたり平均 1 次エネルギー消費量の比較

りの月間 1 次エネルギー消費量の平均値、最大値、最小値を、下記のような事情のある朝霞を除き、白山、川越、板倉について比較すると図 16、図 17 のようになる。なお、2008 年は板倉に急激な学生数の減少が生じたので、朝霞を除外したのと同じ理由で除外した。工学部のみの川越が最も大きく、理系学部と文系学部が混在する板倉がこれにつぎ、文系学部のみで白山が最も小さい。延床面積あたりの相違に比して学生 1 人あたりの値の差ははるかに大きい。

結論

東洋大学の 4 箇所のキャンパスのエネルギー消費に関する長期間の記録を調査し、これに影響を与える要因を検討して冬期・夏期月間エネルギー消費量、および冬期・夏期各 6 ヶ月間のエネルギー消費量を目的変数とする重回帰分析を行った。説明変数は、建物延床面積、学生数、各月開講日数(月間消費量のみ)、平均外気温度であり、それぞれのエネルギー消費量への影響の大きさを明らかにした。

標準偏回帰係数から見た各説明変数の目的変数との関係の強さは、電気、ガス、1 次エネルギーによって、また、各キャンパスによって様々であり、共通性はほとんど見られない。開講日数は月間電気消費量において共通的に有意な説明変数であるが、標準偏回帰係数(説明力)は大きくない。説明力の最も大きい説明変数は平均外気温度、学生数、延床面積のいずれかであることが多い。

重回帰式から求められるエネルギー消費量は、当該キャンパスの諸事情(説明変数の値)に対して標準的な値であると考えられ、管理基準値として今後のエネルギー管理に有効と考えられる。

以上のようにして、キャンパスのエネルギー消費量の管理基準値を求めるための重回帰における有効な説明変数を明らかにした。重回帰分析においては、説明力が高い少数の説明変数で、適合度の高い(決定係数の大きい)モデルができることが理想とされる。本研究の重回帰分析では、データの少ない朝霞キャンパスと、消費割合の小さいガス消費量の一部に成立しない場合や適合度の低い場合があったが、他は概ね説明力の高い絞られた説明変数により適合度の高い回帰式が得られた。

延床面積あたり月間 1 次エネルギー消費量(原単位)をキャンパス毎に比較すると、空室が多いという特別な事情を持つキャンパス以外では、3 キャンパスで大差はないが都心の文系のみでキャンパスがやや小さい。一方、学生 1 人あたりの月間 1 次エネルギー消費量の比較においては、学生 1 人あたり延床面積が小さい都心の文系キャンパスが顕著に小さかった。また、キャンパス開設時や、キャン

ンパス利用の変更に伴う学生数の減少により、建物スペースと学生数の不釣り合いが生じ、一時的ではあるが、著しいエネルギーの過剰消費があったことが明らかになった。ファシリティマネジメントの必要性を示す結果となった。

謝辞

本研究に関し、東洋大学管財部よりデータのご提供に関して多大なるご協力を頂きました。また、データの整理に取り組んだ東洋大学理工学部生福嶋和樹、三浦大樹君に御協力頂きました。以上、記して深く謝意を表する。

注

注 1) 説明変数のなかで独立性が疑われるのは学生数と建物延床面積である。川越キャンパスの建物延床面積と学生数の月別データの相関性を見ると付図 1 のように決定係数が 0.1936 となる。また、年毎のデータの相関性では、決定係数が 0.2345 となる。両者の相関性はごく低い。多重共線性¹⁶⁾は重回帰分析に用いた独立変数の内、共線性が疑われるものを従属変数とし、他を独立変数として重回帰を行い、その決定係数 R_i^2 より、許容度 $1 - R_i^2$ (この逆数が分散拡大係数VIF) を求め診断する。この値を求めると、冬期月別：0.6855、夏期月別：0.8988、冬期6ヶ月：0.5377、夏期6ヶ月：0.8988 となり、多重共線性は問題ない。他のキャンパスでは建物延床面積と学生数とが同時に説明変数となることが無い。

注 2) 学生数のデータは各年4月の入学・就学手続き者数による。また、開講日数のデータは2008年度大学が定めた開講日数による。

参考文献

- 1) 尾島俊雄研究室：早稲田大学理工総研シリーズ3 建築の光熱水原単位〔東京版〕，早稲田大学出版部，1995.6
- 2) 高草木明：中小規模事務所建物の電気使用量の実態とその変動要因に関する調査研究，日本建築学会計画系論文集，No.554，pp.101-108，2002.4
- 3) 小松正佳，高草木明：中規模賃貸事務所ビルにおける熱使用量の実態調査研究，日本建築学会環境系論文集，No.593，pp.57-64，2005.7
- 4) JFMA キャンパスFM研究部会編：キャンパスFMガイドブックー大学施設の戦略的なマネジメントのためにー，日本ファシリティマネジメント推進協会 (JFMA)，2000.5
- 5) 小崎博明，平林千義，伊東民雄，村上俊博，荒木佳昭，磯取二：東京工科大学 CGS (コージェネレーションシステム) の設備保全・運用，空気調和・衛生工学，Vol.76，No.1，pp.23-31，2002.1
- 6) 三瀬農士，佐藤春樹：慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスにおけるコージェネレーションシステムの省エネルギー性および環境性評価，日本建築

付図 1 延床面積と学生数の独立性

学会環境系論文集, No.616, pp.51-58, 2007.6

- 7) 田畑早也香，赤司泰義：九州大学伊都キャンパスにおける建築物の CO₂ 排出量の推定と評価，日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州)，D-2 分冊，pp.1149-1150，2007.8
- 8) 福井拓，瀧巖，八木田裕悟，川瀬貴晴：大学施設の電力消費実態に関する研究 (その 1) 千葉大学西千葉キャンパスにおける電力消費実態，日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州)，D-2 分冊，pp.1151-1152，2007.8
- 9) 瀧巖，福井拓，八木田裕悟，川瀬貴晴：大学施設の電力消費実態に関する研究 (その 2) 建築系研究棟における詳細電力消費実態，日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州)，D-2 分冊，pp.1153-1154，2007.8
- 10) 原英嗣：国士館大学世田谷キャンパスのエネルギー消費量に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州)，D-2 分冊，pp.119-200，2007.8
- 11) 石井悦子，沖美帆子，森山正和：神戸大学におけるエネルギー消費の実態調査その 4. 原単位の考察と文系学部のアンケート結果，日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州)，D-2 分冊，pp.193-194，2007.8
- 12) 沖美帆子，石井悦子，森山正和：神戸大学におけるエネルギー消費の実態調査その 5. 外気温の年・月の変動とエネルギー消費量，日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州)，D-2 分冊，pp.195-196，2007.8
- 13) 福田健一，渡邊俊行，赤司泰義，李演生，江島伊佐朗：大学キャンパスの環境・省エネルギー計画に関する研究ーその 3 大学施設における電力ガス消費量調査，日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東)，D-2 分冊，pp.1167-1168，2001.9
- 14) 国際エネルギー機関 (IEA) Annex25: Building Optimization and Fault Diagnosis System Concept, 1993.10
- 15) 中原信生：建築設備の省エネルギー手法 8) 環境・エネルギー管理システム (BEMS)，IBEC，No.107，1998.7
- 16) 石村貞夫，デズモント・アルン：すぐわかる統計用語，東京図書，1997.6

(2009年12月9日原稿受理，2010年4月14日採用決定)