

低炭素型ライフスタイルを実現する都市・地域環境の創生

Creation of the city-local area environment to realize Low-Carbon lifestyles

大阪大学環境・エネルギー管理部

Department of Environment and Energy Management, Osaka University

吉田友紀子

Yukiko YOSHIDA

キーワード：低炭素型ライフスタイル (Low-Carbon Lifestyle), 地域計画 (Local Plan), サステイナブルキャンパス (Sustainable Campus)

1. はじめに

人の行動に伴うエネルギー消費の削減, つまり, 低炭素型ライフスタイルの実現は, 人口増を続けるアジア地域のみならず, 縮小社会やレジリエンス化を考慮すべき日本において最大の課題である。

2016 年 5 月 13 日, 「地球温暖化対策計画」¹⁾ が閣議決定され, パリ協定による日本国温室効果ガスを 2030 年度に 2013 年度比 26%削減目標に対する国内対応の方針を示したものである。建築分野における日本国温室効果ガス削減は約 40%も求められており, その内訳は, 主に LED 照明と HEMS・BEMS 導入の見える化に関するものである。「LED 等の高効率照明が, 2020 年までにフローで 100%, 2030 年までにストックで 100%普及することを目指す。」と掲げられており, 政府全体の LED 照明のストックでの導入割合を, 2020 年度までに 50%以上とすることが求められている。「更新の基準は, 2015 年度時点で設置・更新後 15 年以上経過し, エネルギー効率が低い照明機器が法定耐用年数以上使用されていることを踏まえ, 設置・更新後 15 年を経過している照明については, 原則として 2020 年度までに LED 照明への切り替えを行う。」とされている。また, 省エネルギー型 OA 機器等の導入等, 節水機器等の導入等も述べられている。エネルギー使用量の抑制は, 事務所の単位面積当たりの電気使用量を 2013 年度比で 2020 年度までに政府全体でおおむね 10%以上削減する努力を求めている。そのために用途別・設備別でエネルギーの使用状況が見える化(計測・表示)し, 機器・設備について最適な運転を行うことが必要としており, エネルギー消費データを利活用することにより, 効率的なソフト(運用)対策を行うことが推奨されている。家庭・業務部門ともに CO₂ 排出量削減を建物ごとに対策を実施するためには, コストが膨大にかかる。そのため, 地域エネルギーの大幅な削減可能性があるか検討している。

2. 低炭素型ライフスタイルとは？

現在, 一人あたり CO₂ 総排出量(図 1) の削減が求められている。人口が同じ場合, 核家族化が進行すると, 単身世帯が多くなり, 一人あたりのエネルギー消費は増加すると考えられる。家庭からの一人あたり CO₂ 排出量は, 図 2 に示す。

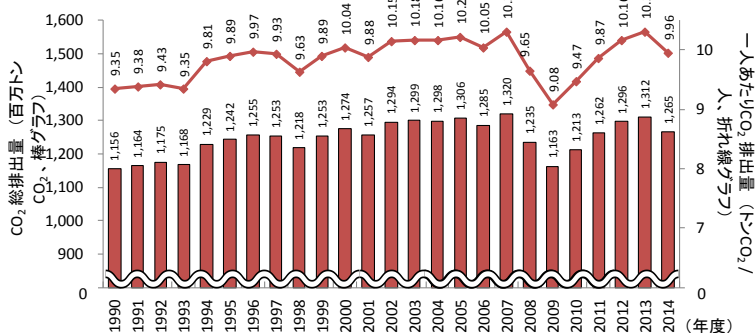


図 1. 日本一人あたり CO₂ 排出量 (総排出量) 2016 年²⁾

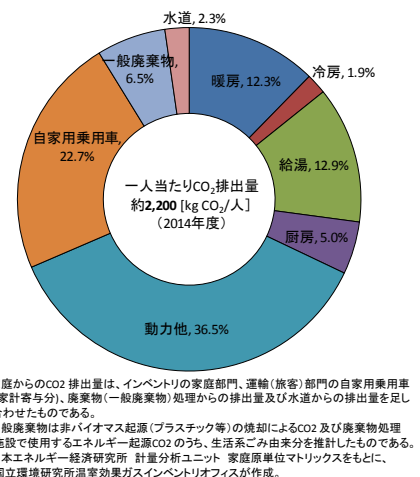


図 2. 家庭からの一人あたり CO₂ 排出量 (2014 年度)²⁾

平成 25 年度～平成 27 年度環境省環境研究総合推進費「低炭素と経済活性化を両立する生活・行動様式と地域環境デザイン方策の提案」（平野勇二郎，国立環境研究所）では，一人あたり直接 CO₂ 排出量のみならず，一人あたり間接 CO₂ 排出量の推計方法を検討してきた。

第 3 次産業従事者割合が 8 割を超えると，電気代等に起因する一人あたり直接 CO₂ 排出量が特に増加することが分かっている．一方，第 3 次産業従事者割合と一人あたり間接 CO₂ 排出量の関係性はみられないものの，食料に起因する一人あたり間接 CO₂ 排出量の変動が激しく（図 3），低炭素型ライフスタイルの実現には食料の調達方法・調理法の見直しが欠かせない．外食代が多いほど消費支出総額に対する光熱・水道代の割合が少ない傾向がある³⁾。

世帯人数が多いほど，食料代に対する外食代の割合は少ない（図 4）．例えば，高齢者単身世帯における一人あたり CO₂ 排出量をさらに削減するためには，少子化が進む小学校の空き教室を利用した学校給食等によりコストを抑えた外食の提供が考えられる．人と触れ合うコミュニケーションの場の創出と健康維持を図るため，小学校の空き教室を利用したクールシェア・ウォームシェア等の環境政策推進が家庭部門 CO₂ 排出量を削減させると考えられる．

図 5 は，第 3 次産業従事者数の割合の多い市町村順に，第 1 次および第 2 次産業従事者数の割合も示したものである．また，第 3 次産業従事者割合が 8 割以上になると，第 1 次産業従事者割合が少なく昼間人口比率が多くなる傾向があり，エネルギー・食ともに自給自足が難しいと考えられる⁴⁾。

平成 22 年国勢調査より昼間人口比率は，東京都千代田区 1739% が最も多く，大阪府大阪市中央区 592%，東京都中央区 494%，東京都港区 432%，名古屋市中区 379%，愛知県西尾市 353% と続く．常住地から従業地への移動が必要であるため，公共交通が発達していない地域では自家用車の利用が多くなる傾向があることを確認した．昼間人口比率の多い地域では，空き店舗をシェアハウス等により世帯数を増やし，商店街活性化など高密度な暮らし（都市型）が低炭素社会実装に結び付く．一方，第 3 次産業従事者が多く，かつ，昼間人口比率 100% を示す地域ではサービス産業を中心とした職住一体的な暮らし（農村型）が低炭素型ライフスタイルに有効と考えられる．このように，地域特性にあう暮らし方を選択する時代になる．

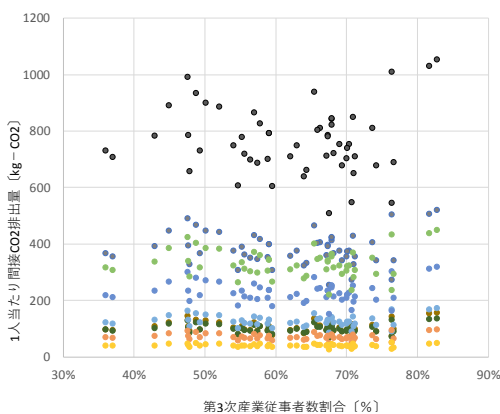


図 3. 第 3 次産業従事者割合と 1 人当たり間接 CO₂ 排出量（愛知県，2013 年）

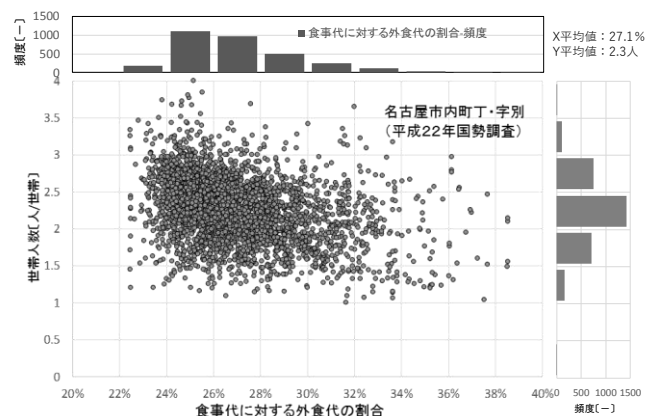


図 4. 食料代に対する外食代割合と世帯人数〔名古屋市〕

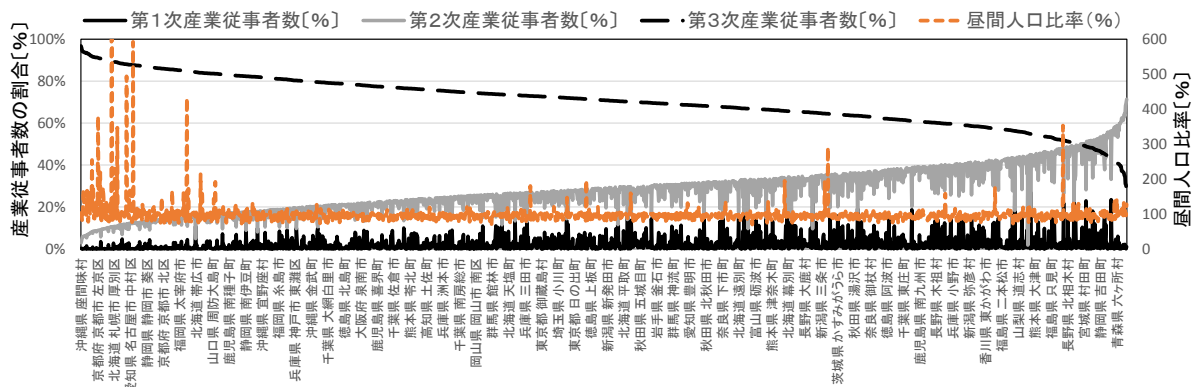


図 5. 市町村別（総数 1909）第 3 次産業従事者数降順と昼間人口比率（平成 22 年度国勢調査）

3. サステイナブルキャンパスとは？

2006 年，高等教育サステイナビリティ推進協議会(以下，AASHE: Association for the Advancement of Sustainability in Higher Education) ⁵⁾ という，高等教育機関のキャンパス・サステイナビリティを推進する組織が設立された．AASHE は，サステイナブルキャンパス評価システム（以下，STARS : Sustainability Tracking, Assessment & Rating System) ⁶⁾ の評価機関であり，世界 501 組織が加盟する．STARS は環境教育に重点が置かれた評価指標（表 1）であり，世界の大学ランキングにも影響を及ぼすと予想されており，注目度は高い．2007 年，世界の先端研究拠点大学の学長の集まりである Global University Leaders Forum,(GULF)と協力しながら，サステイナブルキャンパス構築を世界的な動きへと広げるため，ISCN (International Sustainable Campus Network) ⁷⁾ が組織され，各年会にて情報共有が行われている．国内では，サステイナブルキャンパス推進協議会（CAS-Net JAPAN) ⁸⁾ が組織され議論が行われている．

表 1. サステイナブルキャンパス評価システム（STARS: Sustainability Tracking Assessment & Rating System) ⁶⁾

Category	Subcategory	Credit Number and Title	Points available
	Institutional Characteristics	IC 1 Institutional Boundary	Required
		IC 2 Operational Characteristics	Required
		IC 3 Academics and Demographics	Required
Academics (AC)	Curriculum	AC 1 Academic Courses	14
		AC 2 Learning Outcomes*	8
		AC 3 Undergraduate Program*	3
		AC 4 Graduate Program*	3
		AC 5 Immersive Experience*	2
		AC 6 Sustainability Literacy Assessment	4
		AC 7 Incentives for Developing Courses	2
		AC 8 Campus as a Living Laboratory*	4
	Research	AC 9 Research and Scholarship*	12
		AC 10 Support for Research*	4
		AC 11 Open Access to Research*	2
Engagement (EN)	Campus Engagement	EN 1 Student Educators Program*	4
		EN 2 Student Orientation*	2
		EN 3 Student Life	2
		EN 4 Outreach Materials and Publications	2
		EN 5 Outreach Campaign	4
		EN 6 Assessing Sustainability Culture	1
		EN 7 Employee Educators Program	3
		EN 8 Employee Orientation	1
		EN 9 Staff Professional Development	2
	Public Engagement	EN 10 Community Partnerships	3
		EN 11 Inter-Campus Collaboration	3
		EN 12 Continuing Education*	5
		EN 13 Community Service*	5
		EN 14 Participation in Public Policy	2
		EN 15 Trademark Licensing*	2
Operations (OP)	Air & Climate	OP 1 Greenhouse Gas Emissions	10
		OP 2 Outdoor Air Quality	1
	Buildings	OP 3 Building Operations and Maintenance*	5
		OP 4 Building Design and Construction*	3
	Energy	OP 5 Building Energy Consumption	6
		OP 6 Clean and Renewable Energy	4
	Food & Dining	OP 7 Food and Beverage Purchasing*	6
		OP 8 Sustainable Dining*	2
	Grounds	OP 9 Landscape Management*	2
		OP 10 Biodiversity*	1-2
	Purchasing	OP 11 Sustainable Procurement	3
		OP 12 Electronics Purchasing	1
		OP 13 Cleaning and Janitorial Purchasing	1
		OP 14 Office Paper Purchasing	1
	Transportation	OP 15 Campus Fleet*	1
		OP 16 Student Commute Modal Split*	2
		OP 17 Employee Commute Modal Split	2
		OP 18 Support for Sustainable Transportation	2
	Waste	OP 19 Waste Minimization and Diversion	8
		OP 20 Construction and Demolition Waste Diversion*	1
		OP 21 Hazardous Waste Management	1
	Water	OP 22 Water Use	4-6
		OP 23 Rainwater Management	2
Planning & Administration (PA)	Coordination & Planning	PA 1 Sustainability Coordination	1
		PA 2 Sustainability Planning	4
		PA 3 Participatory Governance	3
	Diversity & Affordability	PA 4 Diversity and Equity Coordination	2
		PA 5 Assessing Diversity and Equity	1
		PA 6 Support for Underrepresented Groups	3
		PA 7 Affordability and Access	4
	Investment	PA 8 Committee on Investor Responsibility*	2
		PA 9 Sustainable Investment*	4
		PA 10 Investment Disclosure*	1
	Wellbeing & Work	PA 11 Employee Compensation	3
		PA 12 Assessing Employee Satisfaction	1
		PA 13 Wellness Program	1
		PA 14 Workplace Health and Safety	2
Innovation & Leadership (IN)	Exemplary Practice Innovation	Catalog of credits available	0.5 each
		Four credits available	1 each

4. 大阪大学における省エネ対策

経済産業省がエネルギー基本計画の方針に基づき、「ZEB ロードマップ」⁹⁾を策定した。新築公共建築物（学校を含む）における省エネルギー対策の重要性が増している。吹田（原油換算 48,048kL/年）、豊中（原油換算 8,911kL/年）と箕面の3キャンパスを合わせて、大阪大学合計では原油換算 59,000kL/年の事業所であるため、省エネ法による第1種指定管理工場（電気・熱）に該当し、その社会的責務が大きい。環境・エネルギー管理部¹⁰⁾は2011年に発足し、総長直下に設けられた組織である。部長は理事（副学長）が兼務し、夏期・冬期の年2回、全部局省エネ担当者を集めた省エネ推進会議を開催し、情報の周知徹底に取り組む。2011年に主要建物毎（計246箇所、30分間隔）の電力使用量の可視化（図6）を構築し、イントラネット上の情報システムを運用する。

平成27年度省エネ大賞資源エネルギー庁長官賞、2015年CAS-Net JAPAN サステナブルキャンパス賞奨励賞、平成27年度おおさかストップ温暖化賞大阪府知事賞を受賞した大阪大学におけるこれまでの取り組みと、今後の課題を示す。2014年度の建物毎延床面積と一次エネルギー消費量を図7に示す。カテゴリⅠ（文科系施設）とカテゴリⅡ（理科系施設）は、延床面積と1次エネルギー消費量に強い相関がある。その他はカテゴリⅢ（大規模施設）に分類される（図7）。

2014年度の建物分類毎の1次エネルギー消費原単位は、カテゴリⅠ（文科系施設）平均値 908MJ/m²・年、カテゴリⅡ（理科系施設）平均値 2301MJ/m²・年、カテゴリⅢ（大規模施設）平均値 9065MJ/m²・年である。よって、カテゴリⅡ（理科系施設）及びカテゴリⅢ（大規模施設）の実験機器類がエネルギー消費に影響を与えていると考えられた。

2012年にキャンパス全体で実施された500W以上の機器調査（回答率：94.4%、図8）のうち、定格電力に使用時間（申告値）を乗じた年間のコンセント電力量にあたる内訳は、サーバー22%、超低温フリーザー（-80℃以下）3%、冷蔵庫3%、冷凍庫・フリーザー（0℃～-80℃未満）2%、家庭用冷蔵庫2%であり、24時間稼働機器のサーバーが全体の約2割、フリーザー・冷蔵庫等が全体の約1割にあたる。57%と大半を占めるその他は、研究用実験機器であった。図9に詳細を示す。

国の登録有形文化財建造物に指定された大阪大学会館は、2014年度1次エネルギー消費量 360MJ/m²・年のカテゴリⅠ施設である。耐震化、創エネ技術及び省エネ技術（図10）による改修工事（創立80周年記念事業）^{11) 12)}を2011年に実施した。改修前に電力可視化システムは作動しておらず、改修前の電力使用量を把握できていない。

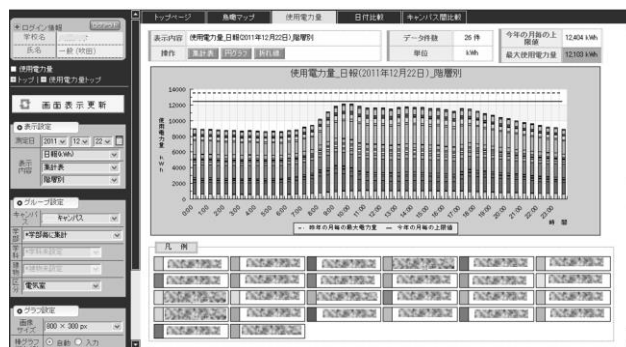


図6. 電力可視化システム（2011年：計測間隔：30分）

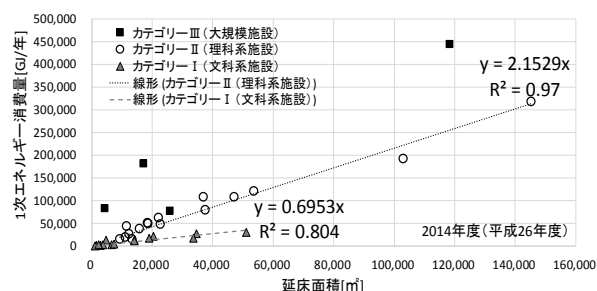


図7. 建物毎の延床面積と1次エネルギー消費量

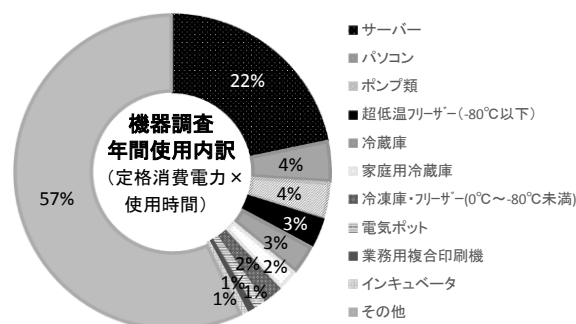


図8 大阪大学全体における2012年

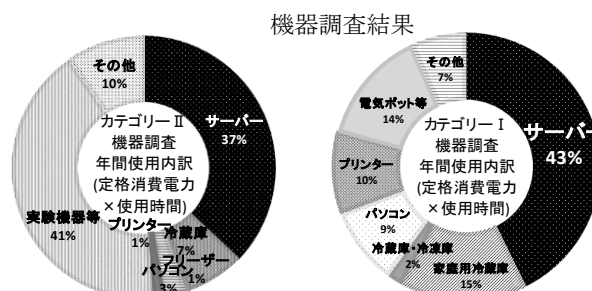


図9 カテゴリⅠ・Ⅱ機器調査結果
(2012年)

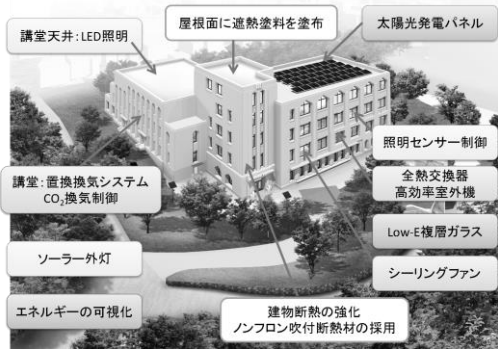


図 10. 大阪大学会館に導入された省エネルギー技術

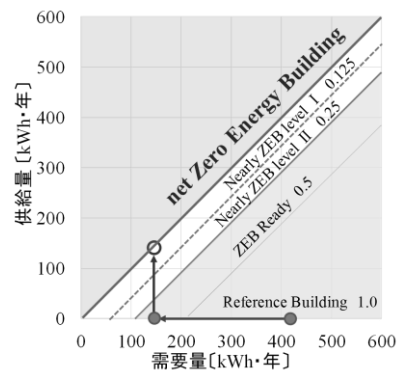


図 11. 大阪大学会館の ZEB 評価 (2014 年度)

表 2 理学部における PDCA 実施内容

手順	実施項目	実行(Action)
計画 (Plan)	PDCAサイクルにおける目標を定める	グループ内で合意をえる
	窓周りにおける断熱強化	直射日光が入る箇所には、部局予算で購入した“よしず”を設置
	照明	照明の間引き1/3～1/2 照度設定500lx
	コンセント電力	稼働が必要な実験機器の見直し
	居室の空調	夏期室温28℃設定
	サーバー室における空調	夏期室温26℃設定
	ピークデマンド時における対応	中央監視室からピークデマンド注意への連絡を受けた際の対応をあらかじめ、グループ内で決めておき、関係者へメールで知らせる仕組みを構築した
実行 (Do)	グループ内の合意	各研究室における省エネの取り組みを共有した
	短期電力使用量の計測	運用変更が可能かどうかを、電力量モニタシステムを用いて検討
確認 (Check)	電力使用量の把握	電力可視化情報の利用
	コスト	月ごとの電力、ガスの支払い額を確認
	協力	お互いの努力を確認

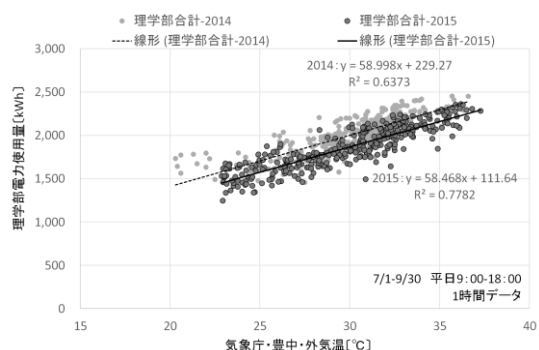


図 12 理学部における夏期電力使用量の比較

また、一部教室から事務室等に変更しており、電力使用量を単純に比較できない。そのため、シミュレーションを行い、無対策や対策ケースの値を算出した。外観を損ねない窓ガラス及び外壁修復等による断熱強化の建築仕様の省エネ効果は、1 割程度と推定された。また、窓仕口を工夫した自然通風、高効率空調機等の設備使用、太陽光を感知する昼光センサーを用いて照明出力を調整する昼光利用等による照明電力削減により、無対策に対して 2014 年運用実績の電力使用量は 53%削減された。太陽光発電量は 143MWh/年であったため、大阪大学会館の 2014 年エネルギー自給率は 64%を示した。空気調和・衛生工学会における ZEB の定義¹³⁾より、コンセント電力計測値の除外を適用すると ZEB (図 11) となる。

理学部では、照明の間引き、使用機器の見直し、サーバー設定温度緩和、よしず設置などの PDCA サイクル (表 2) を徹底し、2015 年度夏期電力使用量は 2014 年度夏期電力使用量の 8%を削減した (図 12)。

大規模施設は中央制御方式空調システムが採用されるため ESCO 事業により主に老朽化したガス熱源を電気式に変えて、高効率化が図られた^{14) 15)}。カテゴリⅢ (大規模施設) の省エネルギー対策は全学の約 1 割のエネルギー削減に貢献した。以上より、2015 年度の主要 3 キャンパスのエネルギー消費量を 2010 年度に比べ原油換算で 15%減、床面積あたりのエネルギー消費量を 24%削減した (図 13)。

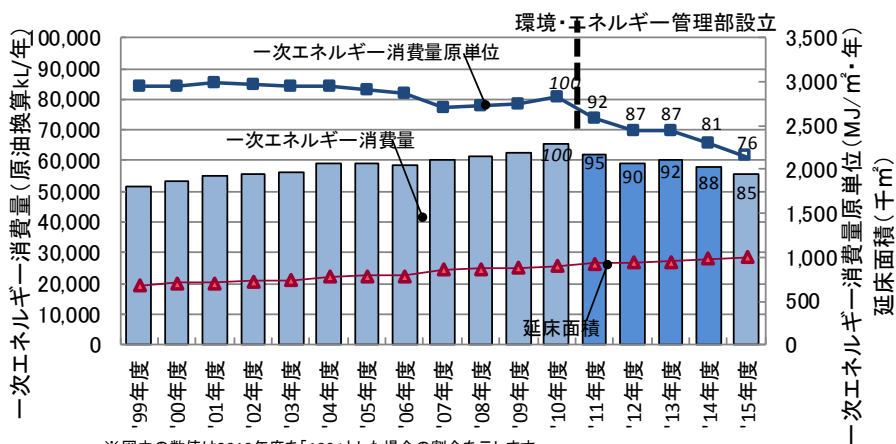


図 13 大阪大学主要 3 キャンパス (吹田・豊中・箕面) のエネルギー消費量推移

5. 都市・地域環境の創生にむけて

都市機能モデル（吉田，2010）¹⁶⁾は，近隣住区論を応用し，夜間人口（定住者）の生活を維持するための1小学校区を単位とした公共施設等におけるエネルギー消費と，従業地における就業者数に伴い，物販・サービス職従事者が増加する傾向を用いて業務建物を含めた地域エネルギー消費を推定した．現在，昼間人口と夜間人口を用いて，経済活動と交通指標を含めて，地域エネルギー需要を推定する「居住機能モデル」¹⁷⁾（図14）を構築し地域環境の創生に向けた検討を行っている．夜間人口における産業大分類別就業者数は，相関関係がある．これらから，表3の都市部，郊外部，農村部ごとの地域エネルギー需要を推定している．

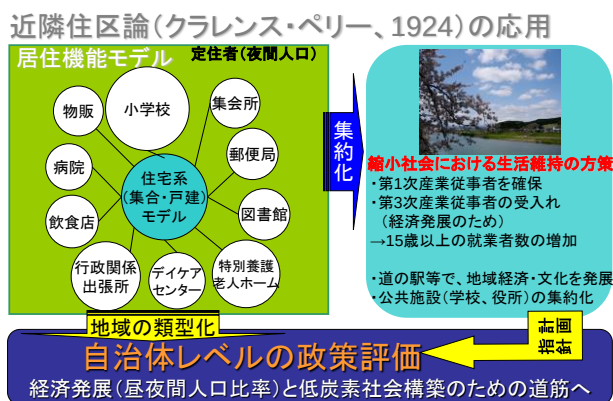


表3 移動手段の必要性によるライフスタイルの類型

平成22年度国勢調査	全国平均	都市部	郊外部	農村部（職住近接型）
昼夜間人口比率	100%	120%以上	80%以下	120%未満～80%以上
一般世帯の平均人数	2.4人	2.2	2.6	2.7
第3次産業従事者割合	67%	77%	70%	75%
1小学校あたり人口総数	5942人	7402	4862	7290

6. おわりに

人の行動に伴うエネルギー消費の削減，つまり，低炭素型ライフスタイルの実現は，人口増を続けるアジア地域のみならず，縮小社会やレジリエンス化を考慮すべき日本においても最大の課題である．中長期的に一人あたり直接・間接CO₂排出量をトータルで削減する必要がある．また，間接CO₂排出量削減のため，食料の調達方法・調理法の見直しが欠かせない．

建築分野が果たすべき役割は，地域に密着した学校を拠点とした縮小社会とレジリエンス化に対応したまちづくり，人と触れ合うコミュニケーションの場の創出と健康維持を図る小学校の空き教室を利用したクールシェア・ウォームシェア，給食等の環境政策推進への寄与といえる．また，サステイナブルキャンパス評価システム（STARS）が確立され，環境教育そのものの社会システムへの組み込みがライフスタイル変革，都市・地域環境の創生に重要な役割を担う．

参考文献

1. 地球温暖化対策計画，<http://www.env.go.jp/press/102512.html>，（アクセス日：2016年7月1日）
2. 日本国温室効果ガスインベントリ報告書（NIR），国立環境研究所地球環境研究センター，2016年
3. 吉田友紀子，平野勇二郎「産業構造の違いが地域エネルギー消費と低炭素型ライフスタイルに与える影響」，第32回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文要旨集，11-1，211-212頁，2016年2月
4. 吉田友紀子，平野勇二郎「直接・間接CO₂排出量削減のための地域計画に関する研究」，第35回エネルギー・資源学会研究発表会，13-5，307-308頁，2016年6月
5. 高等教育サステナビリティ推進協議会，AASHE: Association for the Advancement of Sustainability in Higher Education，<http://www.aashe.org/>（アクセス日：2016年7月1日）
6. サステイナブルキャンパス評価システム（STARS: Sustainability Tracking, Assessment & Rating System），<https://stars.aashe.org/>（アクセス日：2016年7月1日）
7. ISCN (International Sustainable Campus Network)，<http://www.international-sustainable-campus-network.org/>（アクセス日：2016年7月1日）
8. サステイナブルキャンパス推進協議会 CAS-Net JAPAN，http://www.esho.kyoto-u.ac.jp/?page_id=1279，（アクセス日：2016年7月1日）
9. ZEB ロードマップ，経済産業省，<http://www.meti.go.jp/press/2015/12/20151217002/20151217002.html>（アクセス日：2016年7月1日）
10. 大阪大学環境・エネルギー管理部，<http://www.eem.osaka-u.ac.jp/HP/>（アクセス日：2016年7月1日）
11. 下田吉之，山口容平，山中俊夫「大学キャンパスにおける文化財建物の省エネルギー改修（第1報）改修概要と省エネルギー効果の予測値，空気調和・衛生工学会大会学術講演会講演論文集，2011年9月
12. 吉田友紀子，下田吉之，山口容平，山中俊夫「大学キャンパスにおける文化財建物の省エネルギー改修（第2報）運用実績の報告」，空気調和・衛生工学会大会学術講演会講演論文集（大阪），A-54，17-20頁，2015年9月
13. ZEBの定義と評価方法の公開について，空気調和・衛生工学会，<http://www.shasej.org/oshirase/1506/ZEB/zepteigi.html>（アクセス日：2016年7月1日）
14. 大橋巧，服部勇紀，下田吉之，シミュレーションを利用した病院施設熱源設備の運用フォルト定量化と改修による省エネルギー効果予測，空気調和・衛生工学会論文集，199号，2013年10月
15. 大橋巧，宮崎正幸，下田吉之，大規模総合大学施設のエネルギー消費実態に関する研究，電力日負荷曲線の実測データを用いた大阪大学のエネルギー消費特性分析，日本建築学会環境系論文集，78巻，684号，193-201頁，2013年2月
16. 吉田友紀子，奥宮正哉，大西暁生，東修，一ノ瀬俊明，谷川寛樹，井村秀文，事務所系・住宅系の建物用途別延床面積推定手法「都市機能モデル」による地域エネルギー需要の予測，第29回エネルギー・資源学会研究発表会，2011年6月
17. 吉田友紀子，平野勇二郎，渡邊聡，松野正太郎，低炭素型ライフスタイル実現のための居住機能の高効率化に関する研究，大31回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス，2015年1月