

学校施設のカーボンニュートラル対応



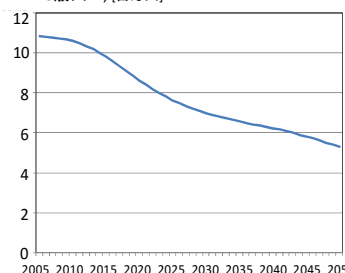
伊香賀俊治 慶應義塾大学 理工学部 教授

文部科学省 学校施設への太陽光発電導入推進検討WG 主査
 文部科学省 学校施設における総合的な環境性能評価手法検討WG 座長
 文部科学省・国土交通省 学校ゼロエネルギー化推進方策検討委員会 委員
 文部科学省 東日本大震災の被害を踏まえた学校施設整備検討会 委員
 文部科学省 熊本地震の被害を踏まえた学校施設整備検討会 委員
 文部科学省 環境教育に活用できる学校施設検討部会 委員
 川崎市 新川地区新設小学校基本計画検討委員会 ゼロエネルギーWG 主査
 国交省・経産省・環境省 脱炭素社会に向けた住宅・建築物の省エネ対策等のあり方検討会委員

学校施設のCO₂排出量2050年推計条件

(1) 人口

7～15歳人口, (百万人)

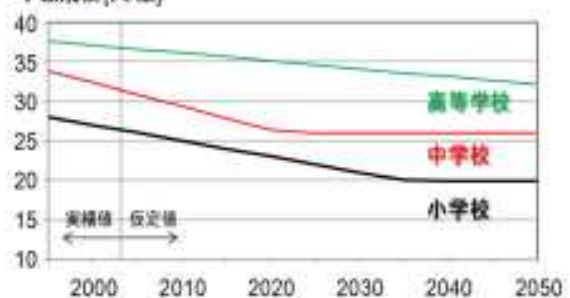


(2) 就学率

	2000年時
5～9歳	99%
10～14歳	100%
15～19歳	85%
20～24歳	26%
25～29歳	2%
30歳～	0%

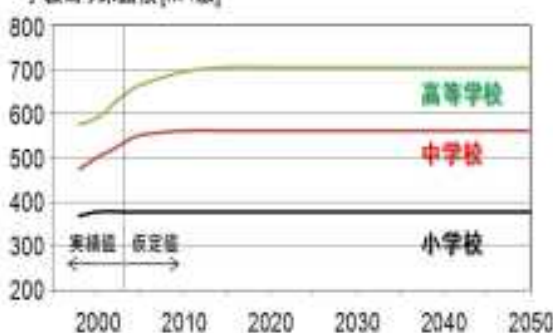
(3) 学級規模

学級規模 [人/級]



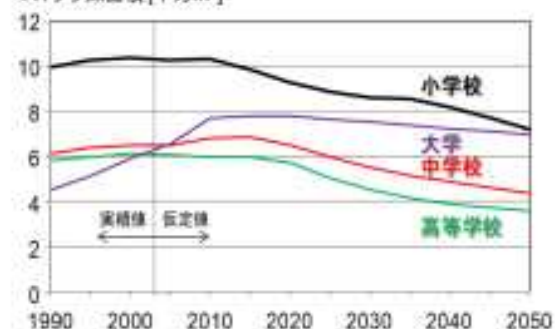
(4) 学級当り床面積

学級当り床面積 [m²/級]



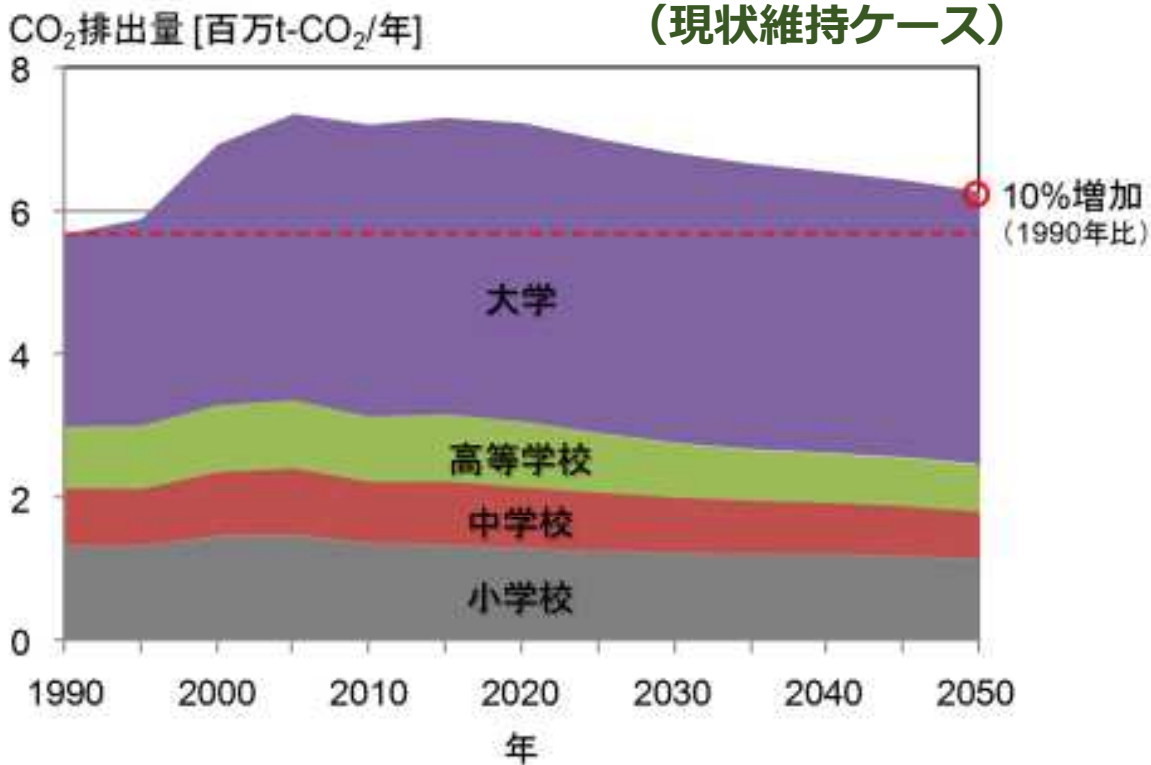
(5) ストック床面積

ストック床面積 [千万m²]



出典：文部科学省「環境を考慮した学校施設（エコスクール）の今後の推進方策について」、平成21年3月 学校施設整備指針策定に関する調査研究協力者会議（分析担当：伊香賀委員）

学校施設のCO₂排出量の2050年推計



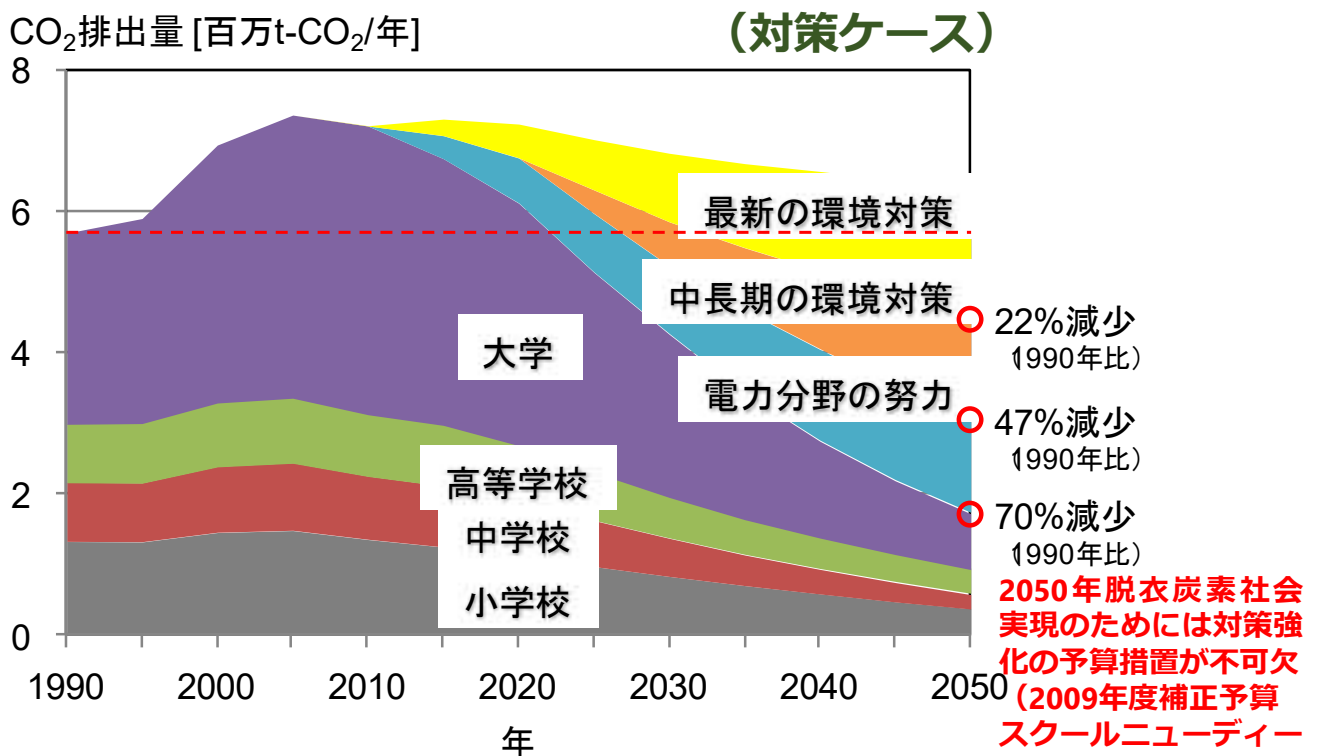
出典：文部科学省「環境を考慮した学校施設（エコスクール）の今後の推進方策について」、平成21年3月 学校施設整備指針策定に関する調査研究協力者会議（分析担当：伊香賀委員）



Ikaga Lab., Keio University

3

学校施設のCO₂排出量の2050年推計



出典：文部科学省「環境を考慮した学校施設（エコスクール）の今後の推進方策について」、平成21年3月 学校施設整備指針策定に関する調査研究協力者会議（分析担当：伊香賀委員）



Ikaga Lab., Keio University

4

学校施設のエネルギー消費の特徴

エネルギー消費の特徴

- ①照明のエネルギー消費量の比率が大きい
- ②冷房よりも暖房におけるエネルギー消費量が多い



学校のエネルギー消費源の7割以上が電力由来。

東京地域でモデル学校における年間エネルギー消費量の構成は、照明45%、暖房22%、換気14%、冷房4%、その他（コンセント、給湯、コピー機等）15%

建築的な特徴

- ①低層建築が多い
- ②延べ床面積に対する窓面積の比率が高い
- ③空間的な連続性（教室と共用部等）が高い
- ④天井が高い



利用上の特徴

- ①使用時間が短い
- ②冷房の期間が短い
- ③児童生徒等の移動に伴い、室の使用時間が多様
- ④スポーツ施設を有する
- ⑤利用者側に設備の技術専門家がない



学校施設のエネルギー消費量（年間）の内訳例

出典： 文部科学省・国土交通省 学校ゼロエネルギー化推進方策検討委員会報告書・同パンフレット、2012年7月

ゼロエネを実現する最大努力対策

ゼロエネルギー化を目的として、建築・設備の統合的工夫が必要なパッシブ技術や室内の快適性を確保しながら省エネを図る設備項目に加えて、大規模な太陽光発電設備の導入を想定

1-1 【共通】屋根・外壁の高断熱化

2-1 基礎断熱化

2-2 開口部の高断熱化

2-3 開口部等の工夫による暖冷房性能の向上

2-4 自然換気を誘発する建築計画

2-5 昼光を取り入れる開口計画

1-3 【共通】高効率熱源機器等の採用

2-6 空調機器のエネルギーマネジメント

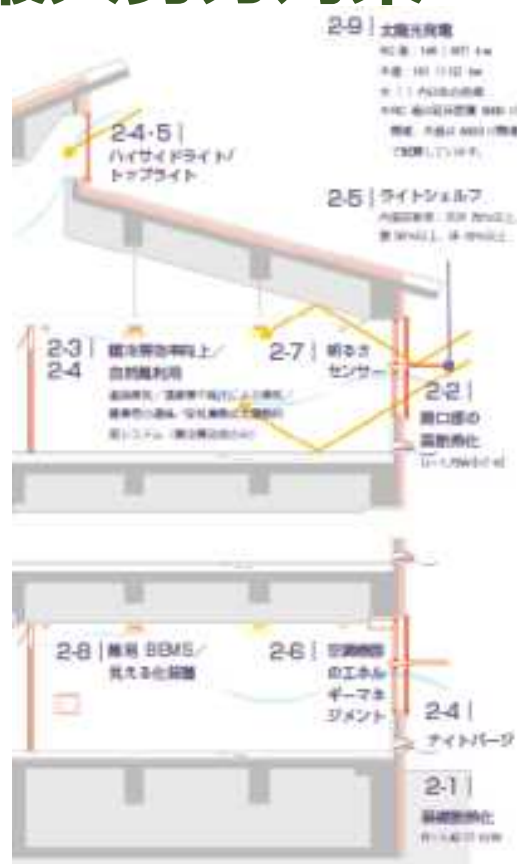
1-4 【共通】高効率照明、人感センサー

2-7 明るさセンサー

1-5 【共通】換気ルートの無駄の回避、発停制御

2-8 簡易BEMS、見える化装置

2-9 太陽光発電（大規模）



出典： 文部科学省・国土交通省 学校ゼロエネルギー化推進方策検討委員会報告書・同パンフレット、2012年7月

東日本大震災：避難所機能に役立った事例

■宮城県山元町立山下中学校

地震直後から停電となり、時期的に気温の低い日が続きましたが、建物の断熱や太陽熱で暖めた空気を利用した暖房設備により、室温を一定に保つことができました。

（停電時の長期的な利用には、ファン動作の太陽光発電パネルが必要です。）

■千葉県鋸南町立勝山小学校

地震直後から停電となりましたが、太陽光発電設備で充電可能な蓄電池を設置していたため、停電時や夜間でも職員室で照明やテレビが使用できました。（停電時に自ら稼働する、自立運転機能付きのパワーコンディショナーが必要です。）



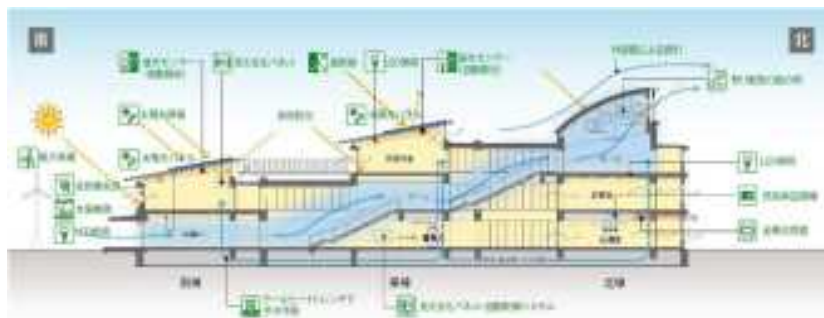
出典： 文部科学省・国土交通省 学校ゼロエネルギー化推進方策検討委員会報告書・同パンフレット、2012年7月

スーパーエコスクール初 net ZEB達成

岐阜県瑞浪市立瑞浪北中学校

瑞浪市・日建設計・日建設計総合研究所 プレスリリース 2020.11

https://www.nikken.co.jp/ja/news/press_release/p4urv0000002n3a-att/pj4urv0000002n47.pdf



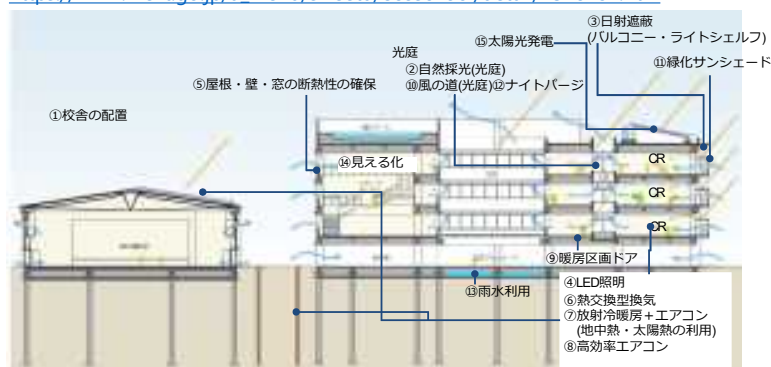
川崎市立新川崎地区新設小学校

文部科学省スーパーエコスクール実証事業の実施状況（平成26年度）

https://www.mext.go.jp/a_menu/shisetu/ecoschool/detail/1348481.htm



当初2018年度開校→2025年度開校予定に延期



<https://www.city.kawasaki.jp/880/category/9-9-7-0-0-0-0-0-0-0-0-0-0.html>

愛媛県伊予市立翠小学校のエコ改修

改修前



改修後



古紙再生断熱材



木製気密サッシ+複層ガラス



階段室の防寒間仕切り



復活した小屋裏換気口



自然採光用光ダクト



木造校舎耐震改修



ペレットストーブ



太陽光発電・風力発電



エコデッキと太陽熱パネル



発電量・消費量表示

環境省「学校エコ改修と環境教育推進事業」採択、愛媛県内最古の築77年の木造小学校の耐震・エコ改修（2010年2月末改修完了）
床面積2740㎡ 資料提供：A小学校エコ改修事務局+上野 貴建築研究所



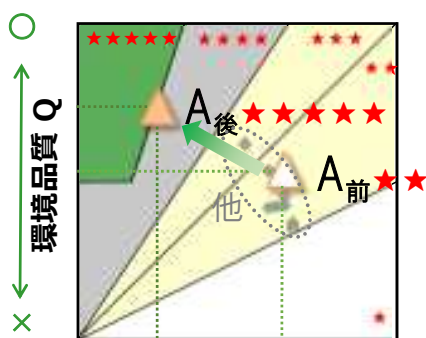
Ikaga Lab., Keio University (Satoko AKUTSU, Yuki YANAI) 伊香賀研・科研費紹介サイト <https://ikaga-healthylife.jp/ja/>

9

エコ改修による児童の健康・学習効率改善

CASBEE-学校による総合環境評価

調査対象校（全12校舎）の評価を抜粋



環境品質 Q
環境負荷 L



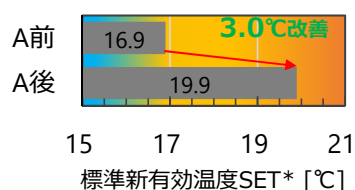
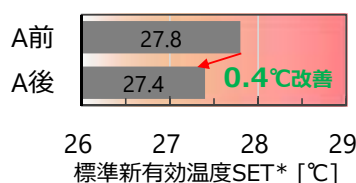
文部科学省：学校施設における総合的な環境性能評価手法 - CASBEE学校評価マニュアル [2010] -, 2010.9

Built Environment Efficiency (環境性能効率) = Q (環境品質) / L (環境負荷)

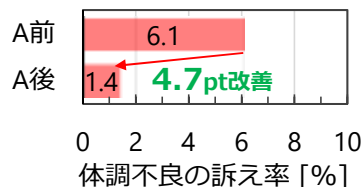
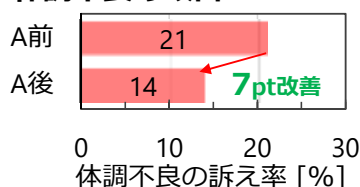
温熱環境の改善

夏季

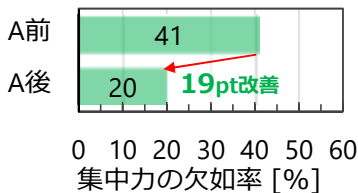
冬季



体調不良の改善



授業への集中力の改善



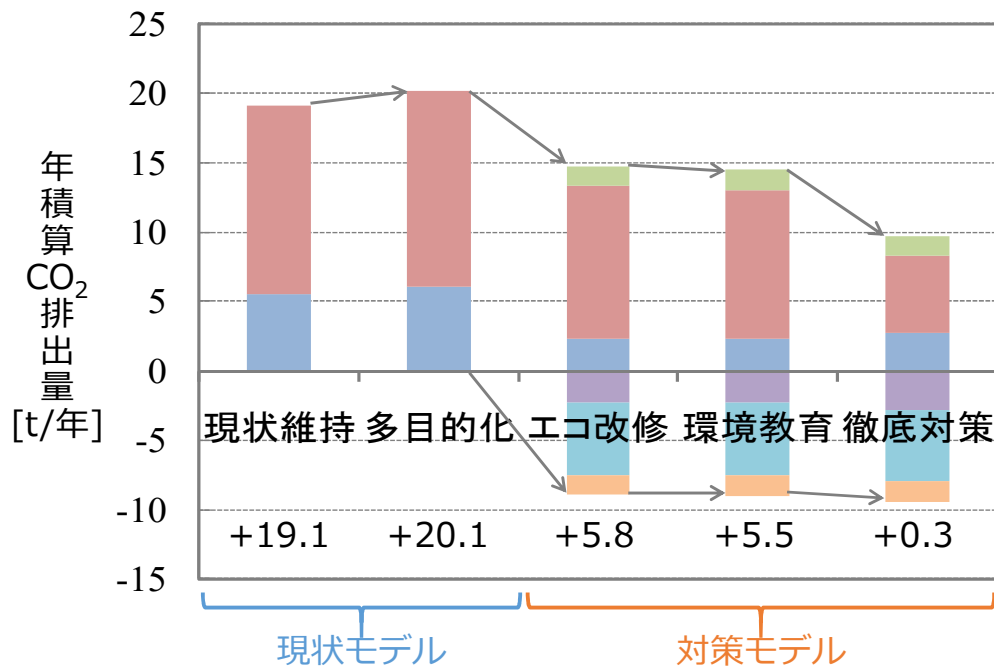
標準新有効温度SET*は、相対湿度50%、椅子に座った状態、着衣量0.6clo (夏) / 1.0clo (冬)、風速0m/sの環境と等価な快適性が得られる温度



Ikaga Lab., Keio University (Satoko AKUTSU, Yuki YANAI) 伊香賀研・科研費紹介サイト <https://ikaga-healthylife.jp/ja/>

10

エコ改修による低炭素化の検討



➡ 徹底対策により、運用段階において概ねゼロカーボンの達成が可能

* 対策前後における年積算CO2排出量の解析値の比較

* 2008年の休日及び長期休暇を除く在校時間（8：00～15：00）



Ikaga Lab., Keio University

11

改修前後、仮設校舎を環境教育教材に



1 夏はとっても涼しいよ

旧校舎の夏は、とっても涼しかったです。西側から、ここちよい風が吹いてきます。でも、風の強い日は、窓を開けると、かべに貼ってある図画やけいじ物があつという壁にはがれて無んでいくこともあり、困りました。



改修工事中の校舎見学

環境省「学校エコ改修と環境教育推進事業」採択、愛媛県内最古の築77年の木造小学校の耐震・エコ改修（2010年2月末改修完了）
床面積2740㎡ 資料提供：A小学校エコ改修事務局＋上野 貴建築研究所



Ikaga Lab., Keio University

12

学校施設評価ツールの必要性

◆ 文部科学省によるCASBEE学校^{文1)}の公表

⇔ 各自治体において客観的な評価ツール構築の取り組み

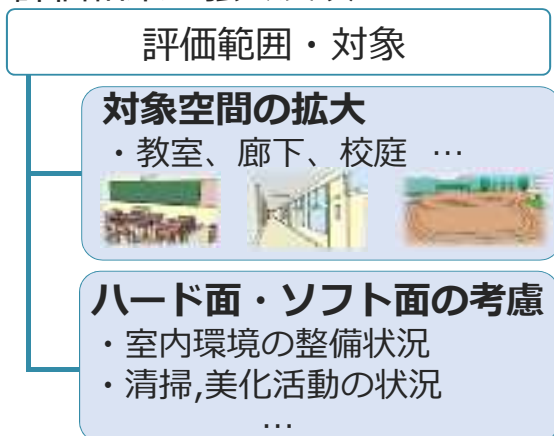
川崎市⇒学校カルテ

立川市⇒客観的評価指標に基づく優先順位づけ

➡ 評価ツールの活用は不十分

◆ 学校施設の評価における留意点

①環境改善への取り組みを
評価結果へ強く反映



②利用者を考慮した評価の必要性



文1) 文部科学省、学校施設における総合的な環境性能評価手法、2010年



Ikaga Lab., Keio University (Takako Amemiya)

13

アンケート調査項目 知覚・満足度

調査項目			対象空間						
			教室	体育館	トイレ	廊下	図書室	校庭	全体
温熱	暑さ/寒さ	暑い～寒い (5)	○	○					
	じめじめ感	じめじめする～ からからする (5)	○	○					
	日差し	強い～弱い (5)	○						
	風通し	多い～少ない (5)	○	○					
光	明るさ	明るい～暗い (5)	○		○				
音	うるささ	気になる～気にならない (5)	○						
空気質	ほこりっぽさ	気になる～気にならない (5)	○	○					
	におい	気になる～気にならない (5)			○				
空間	内装	好ましい～好ましくない (5)	○						
	広さ	広い～狭い (5)	○	○					
衛生	きれいさ	きれい～汚い (5)			○				
総合	満足度	満足～不満 (5)	○	○	○	○	○	○	○

CASBEE学校の評価項目を参考に作成



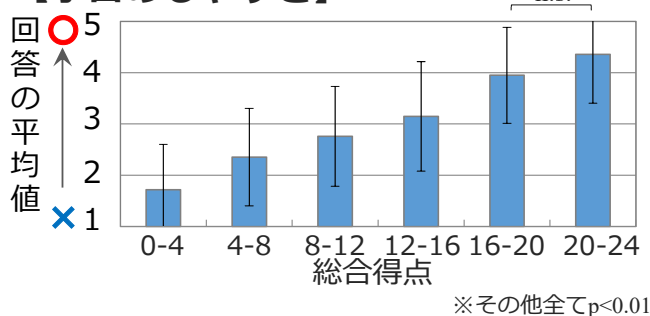
Ikaga Lab., Keio University

(Takako Amemiya)

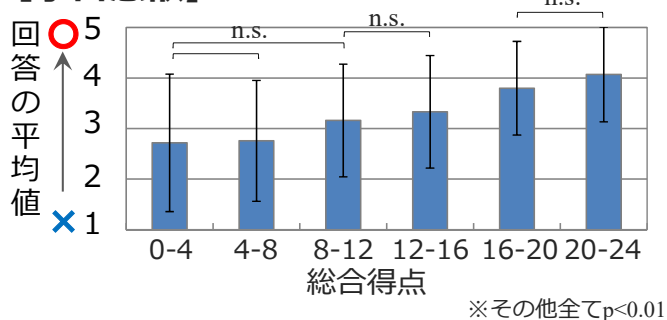
14

学校環境チェックリストと学習効率・健康

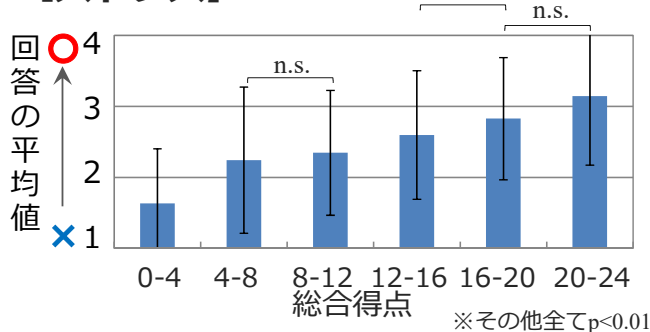
【学習のしやすさ】



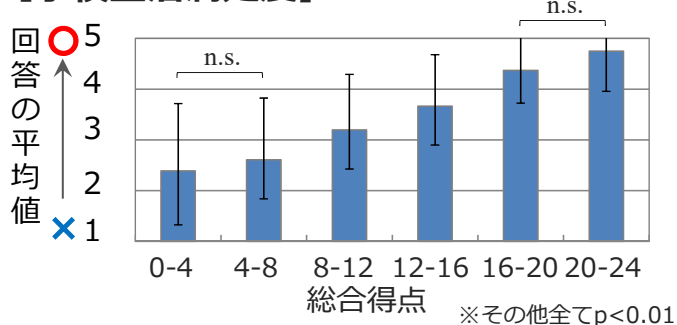
【学習意欲】



【ストレス】



【学校生活満足度】



※総合得点ごとのn数：0-4(46), 4-8(99), 8-12(319), 12-16(391), 16-20(184), 20-24(28)

川崎市立の小学校11校、中学校5校 計16校 (夏期：2013年9月 冬期：2014年2月)

小学5年生 1,315、中学2年生 969 計2,284

小学校教職員 107、中学校教職員 93 計 200



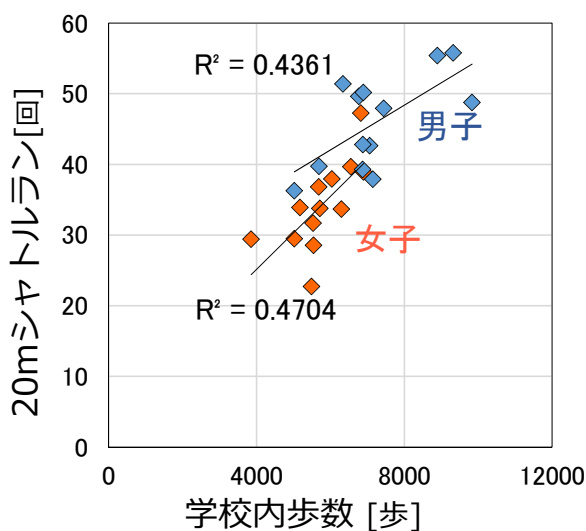
Ikaga Lab., Keio University

(Takako Amemiya)

15

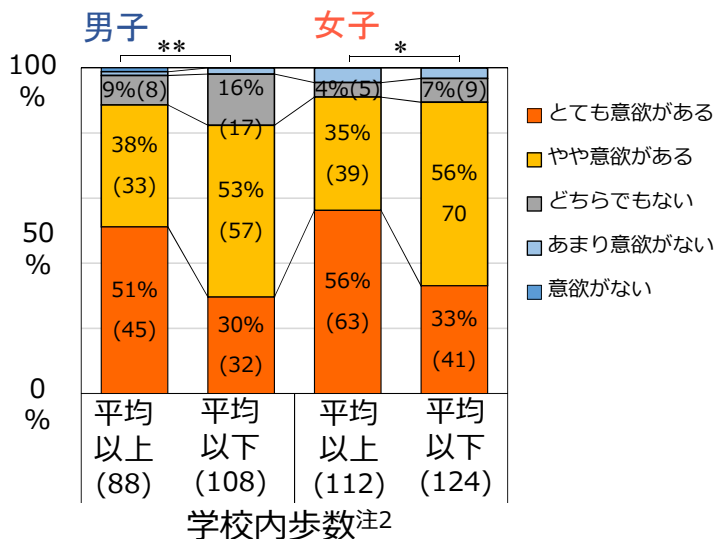
体力と学習意欲を向上する学校施設・教育

学校内歩数と持久力が比例



▶ 持久力と正の相関

学校内歩数と学習意欲が比例



▶ 歩数の多い群は、より意欲的

▶ 身体活動の増加は生活習慣向上を介し、学習活動にも好影響の可能性

注1 学習意欲と有意に関連のある個人因子を除去（主観的健康感「不健康・やや不健康」、教室満足度「不満・やや不満」、テレビの視聴「2時間以上」、起床時間「7:30以降」と回答した児童を全て除去）

注2 平均歩数 男子：7,614歩 女子：5,775歩 ※**：p<0.01, *：p<0.05

川崎市立小学校13校の5年生児童1,199名および教員207名調査（2015年度）

Ikaga Lab., Keio University (Kanoko NISHIKAWA)



HJ-326F



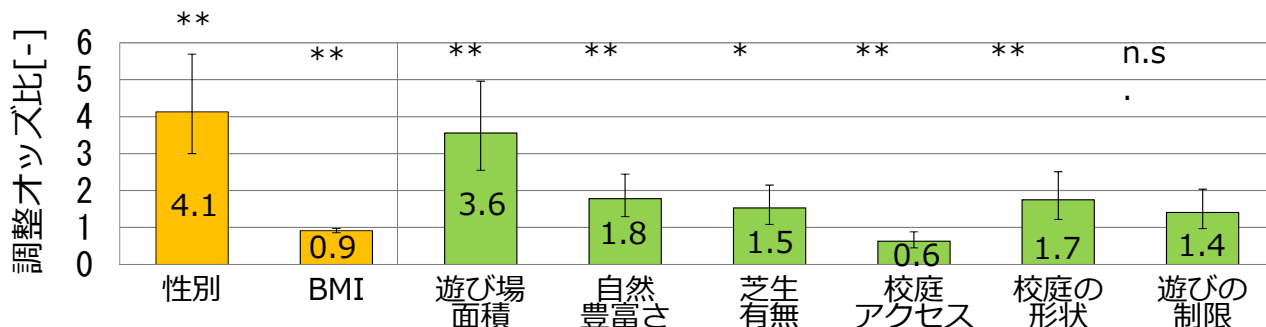
HJA-750C

16

児童の身体活動を促す学校施設

学校施設が児童の外遊びの有無に及ぼす影響度の評価

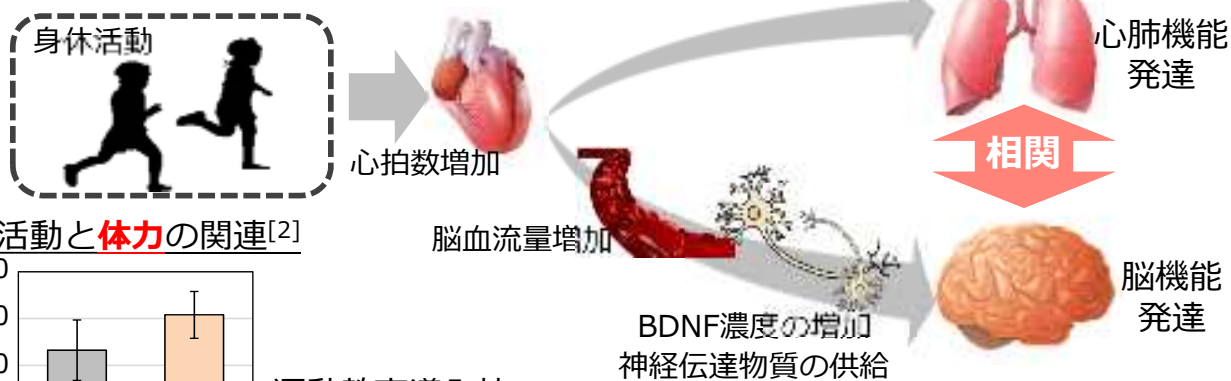
投入変数			コーディング			
従属変数		休み時間滞在場所	0) 室内 1) 校庭			
説明変数	個人因子	性別 BMI	0) 女子 1) 男子 [kg/m ²]			
	学校因子 ^{注1}	遊び場総面積 自然スペース 芝生スペース	0) 狭い 1) 広い	校庭アクセス 校庭の形状 遊びの制限	0) 遠い 1) 近い	
			0) 少ない 1) 多い 0) なし 1) あり		0) 変形 1) 通常 0) あり 1) なし	



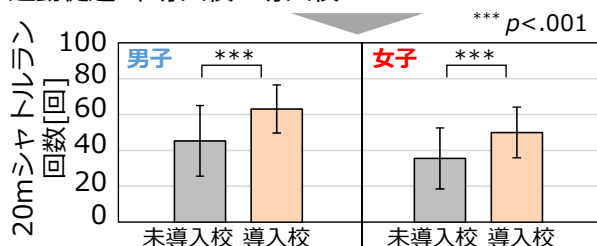
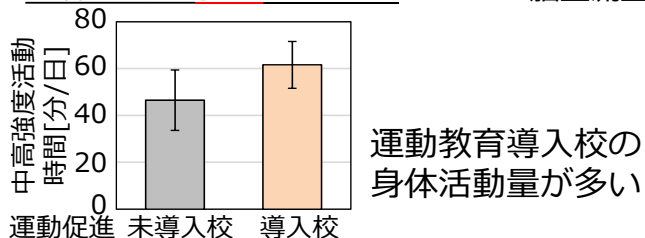
注1 13校の平均値未満の学校を0群、以上の群を1群 「校庭へのアクセス」教室から昇降口までの距離について平均値で群分け。「校庭の形状」校庭が変則的な形状の学校はB, C, D, H校 「遊びの制限」安全上の理由によりA, J, K, L校以外ではサッカー等が禁止 ※エラーバーは標準偏差, **:p<0.01, *:p<0.05, n.s.: p>0.10

学校施設と児童生徒の体力・学力

身体活動が脳機能に影響を与える生理的メカニズム^[3]



身体活動と体力の関連^[2]



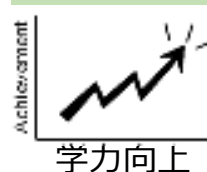
身体活動量が多い学校の児童は体力が高い

短期的効果



学習効率向上

長期的効果



学力向上

身体活動が学習効率向上、
学力向上をもたらす可能性

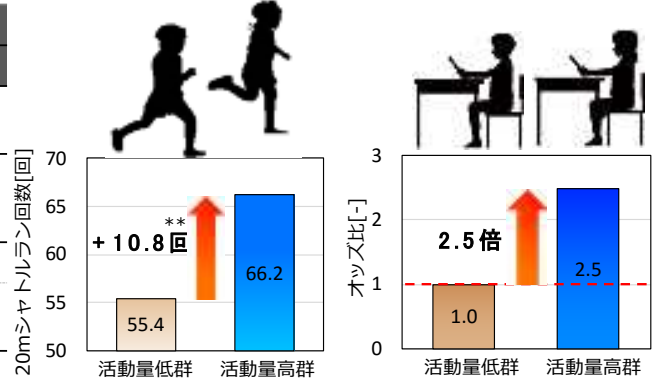
[1]文部科学省, 第3期教育振興基本計画, 2019.06.15. [2]森村和浩ら, 身体活動を促す短時間の取り組みと体力・身体活動水準の関係～小学生を対象とした横断研究～, 体育科学 第63巻 第5号 455-461, 2014. [3] Ratey JJ, 脳を鍛えるには運動しかない!, 日本放送出版協会 東京, 2009.

学校施設と児童生徒の体力・学力

学校施設・運動教育が身体活動を促進

身体活動が体力・学力向上に寄与

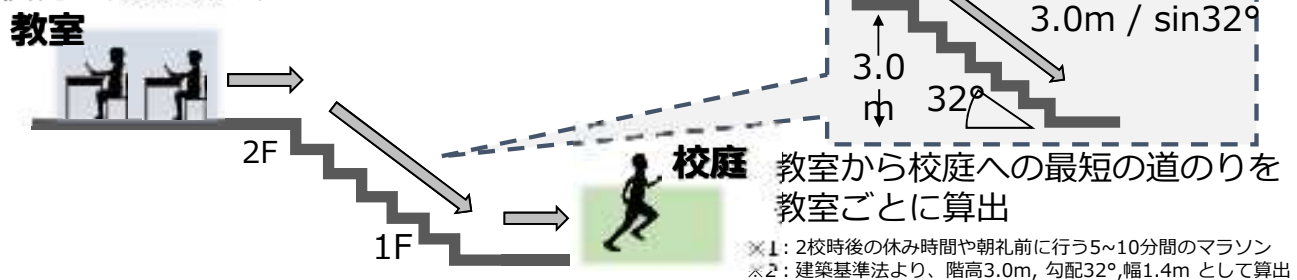
【目的変数】： 在校時の身体活動量[Ex]		Model 1		Model 2	
		exp(β)		exp(β)	
-	定数項	1.93	***	1.13	n.s.
Level-1 日 レベル	マラソン（あり） [ref. なし]	1.19	***	1.14	***
Level-2 個人 レベル	校庭アクセス[20m]	0.92	***	-	
	一人当たり校庭面積 [100m ² /人]	-		1.14	***



教室から校庭が**近い**ほど、
一人当たり校庭面積が**広い**ほど、
身体活動量は**増加**する可能性

身体活動量の多い 身体活動量の多い
児童は**体力がある** 児童は**授業にも集中**

校庭アクセスの算出方法※2



おわりに 学校施設改善のための予算措置が不可欠

「スクール・ニューディール」構想関係 平成21（2009）年度補正予算の場合
総額 1兆1181億円、国庫補助 4,881億円、地方向け臨時交付金 6,300億円
「耐震化」「エコ化」「ICT環境整備」が3本柱となる。

「スクール・ニューディール」構想関係 平成21年度補正予算の概要	
4,881億円 (1) 学校耐震化の早期推進、太陽光パネルをはじめとしたエコ改修の拡大 2,794億円 - 公立学校施設 2,641億円 - 公立小中学校耐震化は個0.3米満の予算措置を完結するとともに個0.3~0.5を中心に、個0.5以上も含め約8,300棟 ※その他、特別支援学校、幼稚園の耐震化も推進 - 公立小中学校の太陽光パネル(早期に現在の10倍となる1万2千校設置を目指す)等エコ改修(省エネ改修(二重サッシ・断熱材等)、校庭の芝生化バイオープ等) - 特別支援学校教室不足解消(2,800教室の不足解消) ※公立高等学校耐震化・太陽光パネルについて「地域活性化・経済危機対策臨時交付金(仮称)」で推進 - 私立学校施設 153億円 - 個0.3米満の建物を中心に、私立学校の耐震化を推進 - 私立学校における太陽光パネル設置などのエコキャンパス事業を推進	(2) 学校ICT環境整備 2,087億円 1.地上デジタルテレビ(電子黒板を含む)の整備 667億円 - 公立学校等 647億円 - デジタルテレビ:現在運用されているテレビをデジタル/電子黒板:各学校1台(小・中) など - 私立学校 20億円 - デジタルテレビの整備等を推進 2.学校のコンピュータ、校内LANの整備(公立学校) 1,420億円 - 教育用・校務用コンピュータの整備(195.6万台) - 校内LANの整備(17.2万台)