

モンゴル国ウランバートル市における各種住居の 夏季及び冬季室内温熱環境の実測調査

小原聡司

Measuremental Study of Thermal Environment of Various Houses in Summer and Winter
in Ulaanbaatar, Mongolia

Satoshi OBARA

(Accepted October 1, 2012)

Abstract Thermal environmental data were measured in Ulaanbaatar City, Mongolia in the late summer and winter of 2010-2011. The air temperature and relative humidity of outdoor and 6-houses living room or bedroom about 10(summer) or 15(winter)-days were recorded. One was a Ger, Mongolian traditional movable house, but measured one was the fixed on the site. 2 houses were the traditional brick-concrete mixed construction, and these were built by dwellers own(Self-built House). Other 3 were the apartment room, which were built in 1960s, 1980s and 2000s, and those were called Soviet type or Mongolia type, respectively. In addition, index PMV and SET* about each house were calculated and compared.

The following results were obtained;

- 1) In comparison with 4-type houses, Ger's air temperature and relative humidity were more effected by the outside air.
- 2) Mongolia type was estimated most comfortable in summer by the value of PMV and SET*, but it was due to the ventilation.

Keywords [Ulaanbaatar, Ger, Air-Temperature, Apartment House, Self-Built House]

1 研究目的と背景

近年、モンゴル国の首都ウランバートル市(以下 UB 市)では牧民が都市の労働者として市郊外のゲル地区に固定式ゲルやセルフビルド住宅(以下 SB 住宅と呼ぶ)を無秩序に建設して住んでいる。同市には他にも社会主義時代のソ連の規格に基づく PC 構法による集合住宅(以下ソ連式集合住宅と呼ぶ)や、民主化後に竣工したモンゴル式 RC 造集合住宅(以下モンゴル式集合住宅と呼ぶ)も数多く存在する。冬季、市中央部に多い集合住宅では地域暖房方式によるスチーム暖房が主である一方、郊外のゲルや SB 住宅では石炭を使用したペチカやストーブが使われている。そして後者の燃料である石炭の煤煙は冬季の市内上空における大気汚染の一大原因となって社会問題化し

ている^{1~3)}。そのため同市当局はゲル地区の固定式ゲルや SB 住宅を一掃したいと考えている。しかし筆者はこれを強制執行で実現するのではなく、各住居の熱環境面の特性を明らかにすることで住民の住宅に対する意識を変えることによって改善につなげられる可能性はあると考えた。

そこで筆者は 2010 年夏から 2011 年初頭の冬にかけて、モンゴル科学技術大学の協力を得て UB 市内にある異なる住居形式 6 戸の温熱環境を同時に実測した。その内訳は固定式ゲル 1 戸、SB 住宅 2 戸、集合住宅 3 戸である。各住戸の居間や寝室にポータブルロガーを設置し、温湿度の変化を 10 分間隔で各季 10~15 日程度連続計測した。温湿度の経時変化と外気温に対する相関を調べると同時に、体感指標である PMV、SET*も求め、温度や湿度単独では評価し

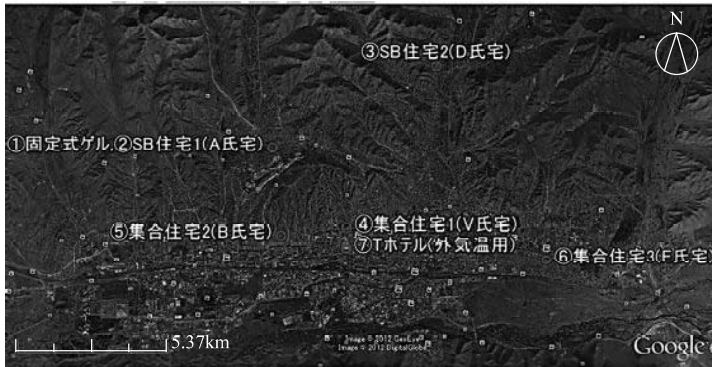


写真1 UB市内と実測地点⁵⁾



写真2 実測に使用した代表的測定機器
(左:ロガー(T&D TR-72), 中央:サーモグラフィ(FILIR BCAM), 右:温湿度モニタ(testo 610))

表1 2010～2011 夏季及び冬季温熱環境実測建物・場所と測定期間

記号	住宅等建物名称(特記事項)	建物形式(竣工年, 一部推測)	所在地(モンゴル国ウランバートル市(Ulaanbaatar, Mongolia)は共通)	ロガー設置場所	測定期間(時刻は24時間制)
①	固定式ゲル(A氏宅敷地内)	移動式ゲルの固定化仕様	N47°57'00" E106°50'08" 1-2 Z.B.Ts.xhoroo8,Souginu Khairkhan district	周囲壁付近	夏:2010/7/27 0:00~8/2 0:00 冬:2010/12/26 0:00~2011/1/8 0:00
②	SB住宅1(A氏宅)	セルフビルド戸建住宅(2009年竣工)		居間平面中央	夏:2010/7/27 0:00~8/2 0:00 冬:2010/12/26 0:00~2011/1/8 0:00
③	SB住宅2(D氏宅)	セルフビルド戸建住宅(2008年竣工)	N47°58'41" E106°55'06" Chingeltei district 19th xhoroo	西側居間中央	夏:2010/7/30 12:00~8/2 0:00 冬:2010/12/26 12:00~2011/1/8 0:00
④	集合住宅1(V氏宅)	ソ連式PC造集合住宅(1960年代竣工)	N47°55'23" E106°52'25" 27-57.Baga toiruu,Sukhbaatar district	北西寝室西側	夏:2010/7/30 0:00~8/2 0:00 冬:2010/12/26 0:00~2011/1/8 0:00
⑤	集合住宅2(B氏宅)	ソ連式PC造集合住宅(1980年代竣工)	N47°55'13" E106°52'25" Block-6.Bayan-Gol Duureg,8th xhoroo	居間東側	夏:2010/7/27 0:00~8/2 16:30 冬:2010/12/26 0:00~2011/1/8 16:30
⑥	集合住宅3(E氏宅)	モンゴル式RC造集合住宅(2000年頃竣工)	N47°54'46" E106°58'31" 127-1-29,Peace Avenue,Bayanzurkh district	北側居間中央, 南側寝室中央	夏:2010/7/27 12:00~8/2 0:00 冬:2010/12/26 12:00~2011/1/8 0:00
⑦	Tホテル(外気温用)	ホテル客室, 窓枠(1980年頃竣工)	Prime Minister Amar's street 2,Ulaanbaatar 20-A	中央位置客室西側, 窓枠外部	夏:2010/7/27 0:00~8/1 9:00 冬:2010/12/26 0:00~2011/1/8 9:00

にくい快適性を評価した。

本報では前報⁴⁾に引き続き、2010年夏季の熱環境を体感指標で取りまとめ直し、さらに冬季実測についても同様の評価を行うことで各建物の年間の傾向についてもとりまとめたので報告する。

2 夏季及び冬季実測の概要

実測を行った住宅等(以下記号①～⑦で併記する)の名称や所在地を表1と写真1に示す。いずれも1で触れたUB市の代表的な住居形式で、前報⁴⁾でもその詳細は紹介済みである。夏季の温湿度実測では、居間や寝室の高さ1.5～1.8mの高さに電池式温湿度データロガーTR-72(写真2左)を吊るすか、同程度の高さの棚等に設置した。他に外気温として、滞在したホテル(⑦)の日射の当たらない窓枠部分にも設置した。夏季実測の期間は2010年7/24～8/3であるが、建物によって測定期間は若干異なる。また、この時期を夏季としているが、実際には日本でいえば晩夏にあたる季節であり、前半5日間は夏季らしい日中30℃を超える日々であったが、後半6日間は最高気温も25℃前後で朝や夜に肌寒さを感じる気候となった。随時撮影した写真による記録を見ると、7/25曇

天、26快晴、27快晴、28晴れのち曇り、29曇りのち晴れ、30曇り、31快晴、8/1晴れ時々曇り、2曇りであった。夏季の場合は各建物に冷房装置がなく、採光のため通風を行って室内空気が充分循環していたため、室の上下温度分布の計測は行わなかった。

一方、冬季の温湿度実測では建物の施工精度や新旧による室内上下方向温度分布を調べるため、居間や寝室の高さ上部(1.5～1.8m)、中央(1.0～1.3m)、下部(0.1～0.3m)の高さに電池式温湿度データロガーを設置した。各住居で高さに範囲があるのは居住者の個々の生活の邪魔にならないように適宜設置してもらったためである。また、冬季実測では外気温は実測を行った建物ごとに窓枠部分にロガーを設置し、センサのみを室外に出すことで測定した。冬季実測の期間は2010年12/26～2011年1/8であるが、夏季実測と同様に建物によって測定期間が若干異なる。天候については記録がなく、詳細は不明である。なお冬季実測ではペチカや暖房用ストーブによる室内表面温分布への影響を確認するためのサーモグラフィ(赤外線カメラ)FLIR BCAM(写真2中央)も使用したが、今回の報告では割愛している。

3 快適感指標 SET*と PMV の計算

この報告では実測データ(気温, 相対湿度)をオリジナルの PMV・SET*計算プログラムに読み込ませ, 温熱快適評価指標 SET*及び PMV を算出した。

3.1 SET*と PMV の定義と快適感評価

新標準有効温度 SET*^⑥とは, 着衣量 0.6clo, 椅子静位, 静穏気流, 平均放射温度=空気温度という環境下における快適性評価指標で温度スケールで表す。室温が 22.9~25.2°C(一般的には 25°Cが基準とされる), 相対湿度が 20~60%の範囲が快適範囲となる。総合的快適指標 PMV^⑥とは, 熱的快適性の 4 要素(気温・相対湿度・気流・放射)に人体側 2 要素(代謝量・着衣量)を含めたものである。PMV のスケールは一般的に±3 の 7 段階で表されて, 0 の中立を中心に+の方の値は「暑い」という評価を表し, -の方の値は「寒い」という評価を表す。一般に±0.5 の範囲が快適域(不快と感じる人の割合 PPD が 10%以下)とされる。

3.2 プログラムの妥当性と不足データの扱い

今回使用した PMV・SET*計算プログラムは, 温熱 4 要素である気温・相対湿度・グローブ温度・相対風速・人体側 2 要素である代謝量と着衣量を入力することによって PMV・SET*が計算できる。このプログラムの主ルーチンは文献⁷⁾に基づいており, その計算結果は複数の大学等で公開しているソフトと比較して, 誤りのないことが確認済みである。なお, PMV は一般に快適域に近い±3 の範囲であるとされるが, 以下のデータ処理やシミュレーションでは実測データを用いたため, それ以外の範囲となることが多くあった。また, 今回の実測では気温と相対湿度の 2 要素の測定であったため, PMV や SET*の計算に必要なその他の要素については別途以下に登場する図中の欄外に示す値に設定した。たとえば風速は 0.6[m/s], 着衣量や代謝量は各季節の一般値及び着座・非常に軽い作業時の値を設定した。グローブ温度も実測していないため, 室温とグローブ温度を比較した研究例⁸⁾⁹⁾を参照し, 夏季の場合は空気温度と同等の値を, 冬季の場合は空気温度+3°Cの値を設定した。

4 実測結果及び体感指標による各住戸の特徴

4.1 集合住宅間の温熱環境の比較

現在 UB 市中心部で最も代表的な住居である集合住宅の建築年代別あるいは構法別の比較を図 1~4 で

行う。作図にあたっては変動を見やすくするため 90 分で移動平均化している(以下の他の図も同じ)。図 1 の空気温度欄(下から 2 段目)で外気温度を見ると, 7/30 までは約 25~33°C程度の夏季らしい日中であるが, 7/30 以降からは急激に約 13~18°C程度まで低下している。これは晩夏にあたる季節であったため, 期間の前後で大きく空気温度が変化した。

次に同じ図で集合住宅の空気温度を見ると, ④-1, ⑤-1 のソ連式集合住宅 1,2 は 7/27 の日中に 36~37°C まで達し, 外気温より 3~4°C 高く非常に暑い。しかし, 28,29 日は曇り気味であったため, 3 つの集合住宅は共に 2~3°C の変動でほぼ一定になっている。

7/30~8/2 までの期間後半では, ④-1, ⑤-1 のソ連式集合住宅 1,2 の空気温度は 22~24°C で一般的に快適とされる空気温度である一方, ⑥-1,2 のモンゴル式集合住宅 3 は 25±2°C 程度の変動でやや高めで一定となっている。

次に図 1 最下段の相対湿度を見ると, 外気の午前中は 45~60%, 午後は 10~20% となり, 一日の変動が大きい。変動は 10~55% と大きく, 大陸性ステップ気候の特徴である乾燥状態である。また, 室内相対湿度を見ると, ④-1, ⑤-1, ⑥-1 の集合住宅 1,2,3 は変動が共に 20~55% 程度である。しかし, ⑥-1 と同じモンゴル式集合住宅 3 の⑥-2 は全体的に相対湿度が低く, 5~45% 程度であり, 特に低湿時は極端な値となっている。

次に図 1 の上側で温熱快適評価指標である SET* と PMV を見ると, 期間前半では特に大きな差はないが, ⑥-1 のモンゴル式集合住宅 3 が PMV で 0~0.5, SET* で 24~26°C あり, 最も快適域である「中立」(PMV±0.5 内)に近い。期間後半を見ると, 全ての集合住宅が快適域である PMV の±0.5, SET* の 25°C より低い値になっている。その中でも⑥-1,2 のモンゴル式集合住宅 3 は PMV が -0.5~-1.5, SET* が 21~24°C で「やや寒い」という評価になるが, その他の④-2,3, ⑤-2,3,4 のソ連式集合住宅の PMV(-2~-1), SET*(19~22°C)に比べれば快適といえる。しかし, 図 3 の冬季実測結果を見ると, ⑥-2,3,4,5 のモンゴル式集合住宅 3 は PMV が 0~2, SET* が 26~28°C となっていることから, むしろ「暑い」という評価になる。ただし, これは着衣量 1.0clo で固定した時の結果から, 居住者が着衣を少なくして快適にすることは容易であろう。従って一概に欠点とは言えない。冬季は, ⑤-2 のソ連式集合住宅 2 が PMV で±0.5, SET* で 24~25°C であり最も快適域である「中立」に近い。これはソ連式とモンゴル式の壁体の材料や厚さが違うことによる断熱性・気密性の違いが要因と考えられる。図 3 の結果では, ⑥-2,3,4 のよう

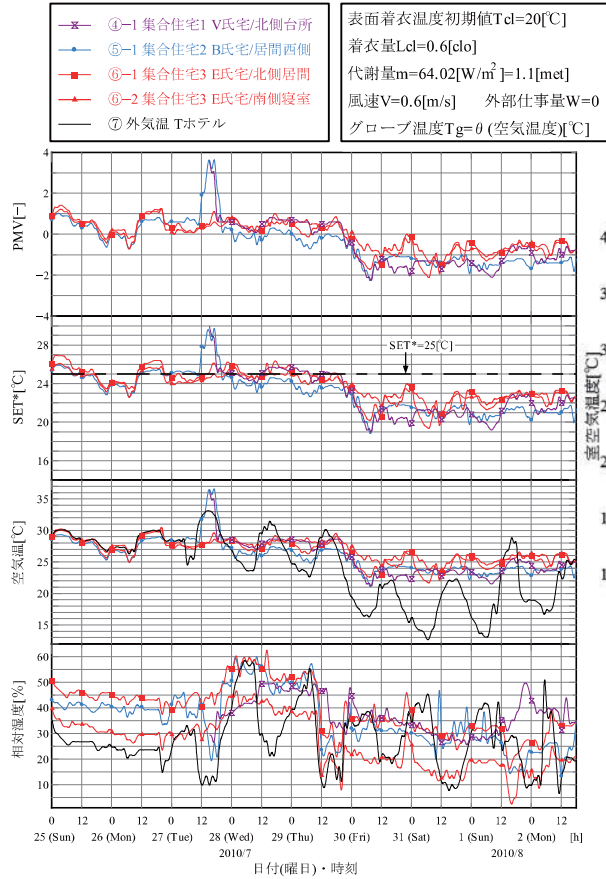


図1 集合住宅間の比較(夏季)

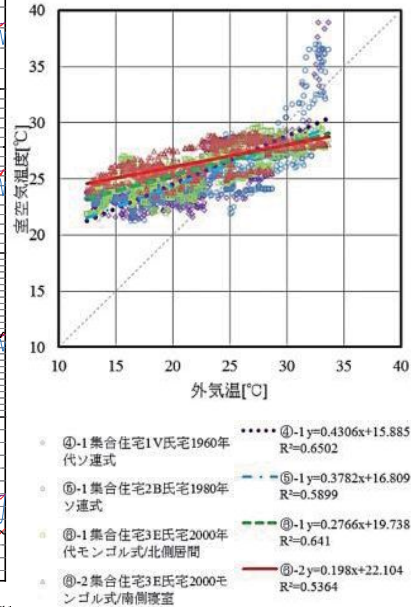


図2 集合住宅間の室空気温度と外気温の相関(夏季)

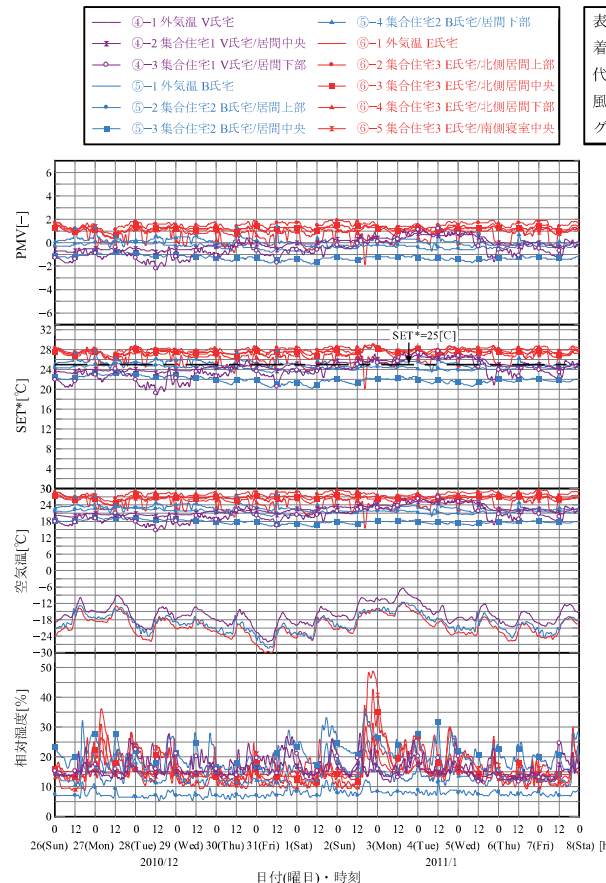


図3 集合住宅間の比較(冬季)

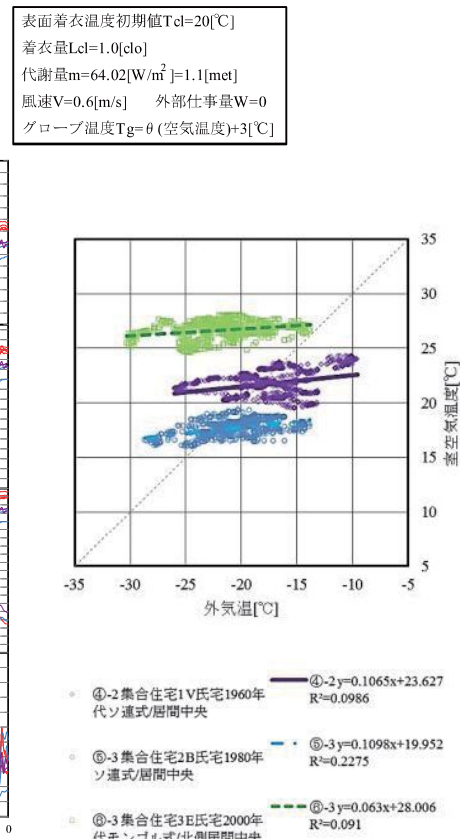


図4 集合住宅間の室空気温度と外気温の相関(冬季)

に比較的最近施工したモンゴル式集合住宅 3 の断熱性が最も高く、冬季にもかかわらず評価が「暑い」となったが、夏季の場合は通風が有ったことにより最も快適な評価になったと考えられる。また、図 2,4 の相関図の回帰係数もモンゴル式住宅が 0.2766, 0.198, 0.063 と最も小さく、外気温の影響を受けにくいことを裏付けている。冬季のソ連式集合住宅では、着衣をやや脱いで(0.8clo 程度)おけば快適に、また比較的新しいモンゴル式集合住宅ではくつろいだ軽装(0.6~0.7clo 程度)になれば快適になると言える。

4.2 SB 住宅間の温熱環境の比較

ゲル地区に相当数建つ SB 住宅について図 5~8 で比較する。夏季実測時の図 5 を見ると、期間前半は②-1 の SB 住宅 1 は PMV が -1~4, SET* が 22~30°C で最も変動が大きい。特に 7/27 は PMV が -0.5~4, SET* が 23~30°C で「かなり暑い」という評価になる。他の③-1,2 の SB 住宅 2 は空気温度の変動パターンが似ているが、③-1 は南側居間の方が PMV で -0.5~0.5, SET* で 23~25.5°C であり最も快適である「中立」に近い(7/27 除く)。

期間後半は②-1, ③-1,2 の SB 住宅 1,2 はいずれも PMV が -4~-1.5, SET* が 15~19°C で「かなり寒い」という評価になる。両棟ともよく似た変動で上下変動が激しいことが分かる。これは、SB 住宅の設

期間後半は②-1, ③-1,2 の SB 住宅 1,2 はいずれも計内容・施工レベルがほぼ似ていて、開口を開けての通風や隙間風が多く、外気温の影響を受けやすいためである。

次に冬季実測時の図 7 を見ると、夏季と同じで上下変動が激しいが②-1 の SB 住宅 1 は PMV が -2~1, SET* が 18~26°C で、わずかに③-2 の SB 住宅 2 の PMV (-4~0), SET* (14~25°C) よりも快適である「中立」に近いことが分かる。なお、③D 氏宅の外気温は日中になると急激に上昇している。これは外気温を測定するために南側の窓枠部分に電池式温湿度データロガーを設置したため、日中になると日射の影響で急激に測定空気温が上昇したためである。

4.3 典型的な各種住居間の比較

UB 市内の典型的な 3 つの住宅形式の温熱環境の違いを図 9~12 で比較する。図 9 で夏季の期間前半を見ると、①-1 の固定式ゲルと②-1 の SB 住宅 1 が PMV -1~1, SET* 21.5~24.5°C で、⑤-1 の集合住宅 2 が PMV -1~0.5, SET* 23~25°C であり共に快適である「中立」に近く、夏季は住居形式で特に大きな差はないといえる(7/27 除く)。

期間後半を見ると、外気温が急激に低下するにつれて快適評価に大きくばらつきが生じている。②-1 の SB 住宅 1 は PMV が -4~-2, SET* が 14.5~18.5°C で「かなり寒い」という評価になる。また、①-1 の固定式ゲルはより上下変動が大きく PMV が -4~-0.5, SET* が 15.5~23°C となり、SB 住宅 1 と同じく「かなり寒い」という評価になる。しかし、⑤-1 の集合住宅 2 は PMV が -2~-1, SET* が 19~22°C と「寒い」という評価になる。集合住宅は最も過ごしやすく、SB 住宅は着衣量の増加で対応できる。一方、固定式ゲルは頻繁かつ多めの着衣量を必要とするため盛夏を過ぎると他の住居に比べ快適性が劣るといえよう。

次に冬季実測時の図 11 を見ると、各住居とも何らかの手段で暖房を行っているため全体的に夏季実測時の期間後半と評価の分布は似ていることが分かる。その中で、最も快適な⑤-2,3,4 の集合住宅 2 でも測定位置の上部、中央部、下部で評価が変わってきている。⑤-3 の中央部だけが PMV が -1.5~-0.5, SET* が 21~23°C であり「やや寒い」という評価になるが、⑤-2,4 の上部、下部は PMV が -0.5~0.5, SET* が 24~26°C で快適である「中立」に近い。これは集合住宅 2 がソ連式で 30 年以上前の施工で気密性に若干の問題があることを示唆している。

また、固定式ゲルも中央部と下部では評価が大きく変わっている。①-2 の固定式ゲルの中央部は PMV が -5.5~1, SET* が 10~25°C で上下変動が大きく「かなり寒い」という評価になる。一方、①-3 の下部は PMV が -7~-5, SET* が 2~10°C で変動が一定となっているが、これも「かなり寒い」という評価になる。このことから、集合住宅 3 棟は最も外気の影響を受けにくく一定の服装で過ごせること、SB 住宅も外気温に合わせて着衣量を増やすことで快適に暮らしやすいことが分かる。しかし、固定式ゲルは外気温の影響を受けやすいことから、他の住居形式に比べて明らかに冬季の快適性は低いと言える。

5 まとめ

今回の夏季・冬季室内温熱環境の実測データから求めた温熱快適評価指標により以下のことが分かった。

(1) 夏季を通して最も快適に過ごせるのはモンゴル式集合住宅である。ただし今回はモンゴル式のみ通風をしていたので、たまたま良い結果となった可能性もある。集合住宅は全般的に他の住居形式(固定式ゲル, SB 住宅)に比べて快適性が高かったが、集合住宅間では竣工年代の違いから壁体の材料や厚さが異なる

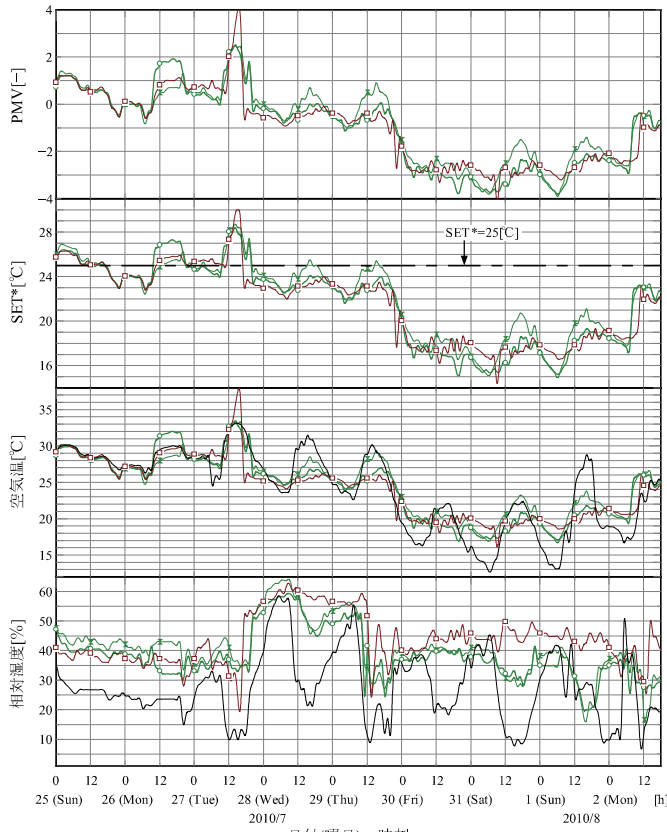


図5 SB住宅間の比較(夏季)

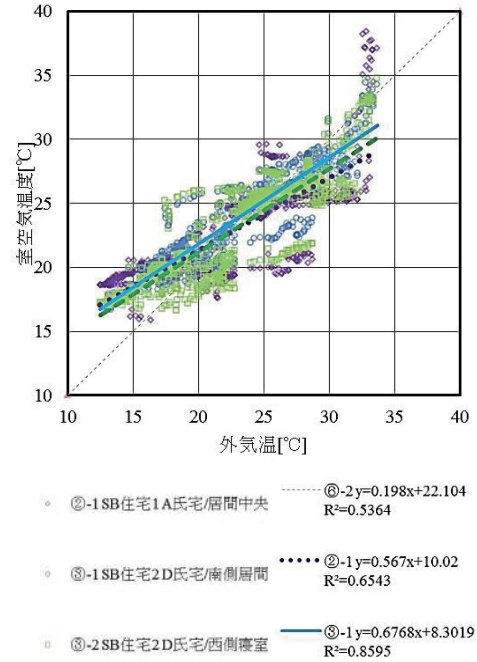
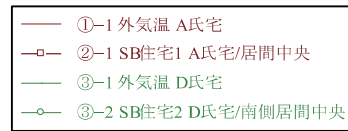


図6 SB住宅間の室空気温度と外気温の相関(夏季)

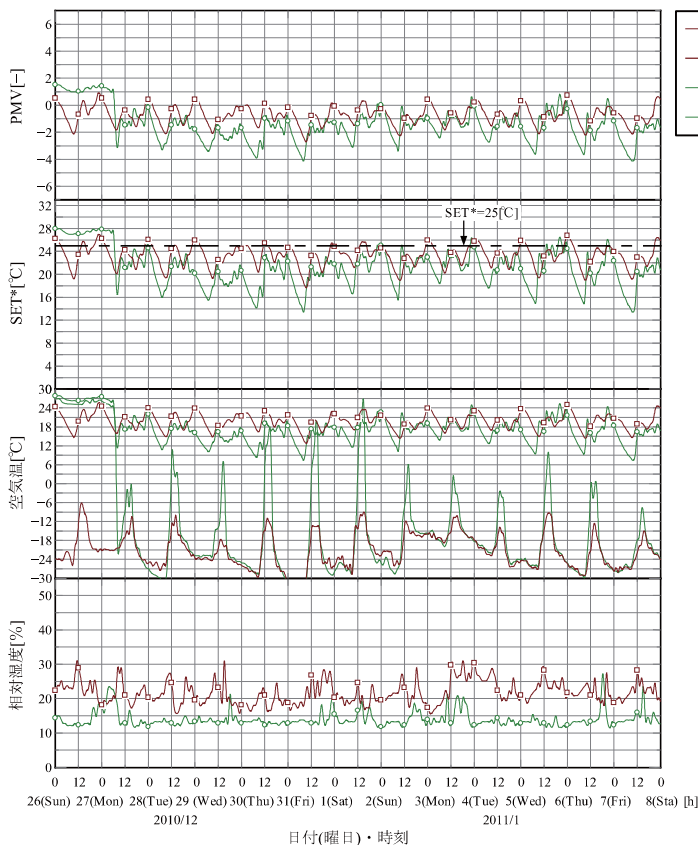


図7 SB住宅間の比較(冬季)

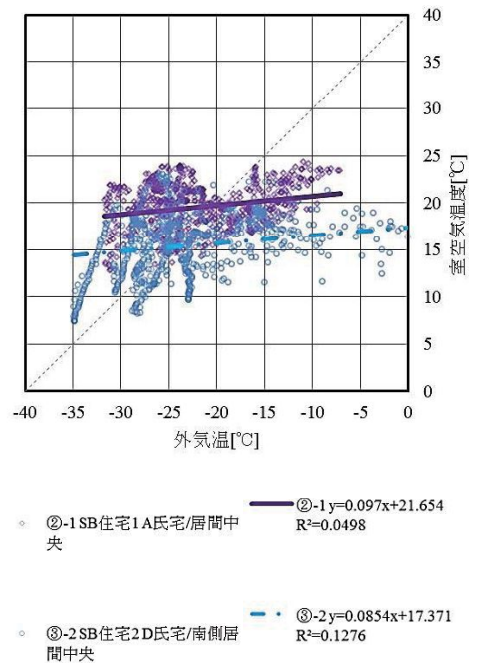
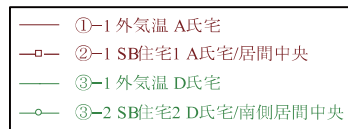


図8 SB住宅間の室空気温度と外気温の相関(冬季)

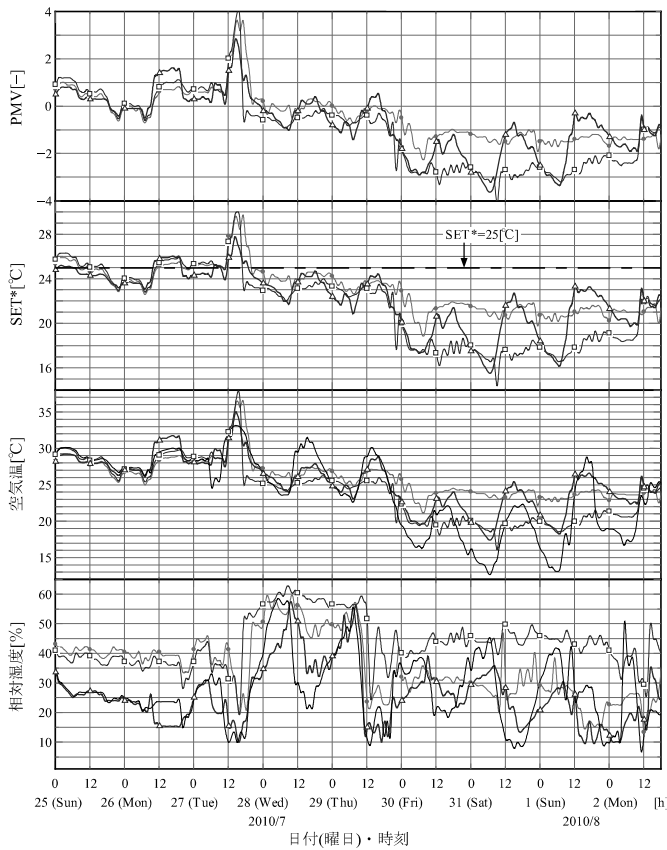
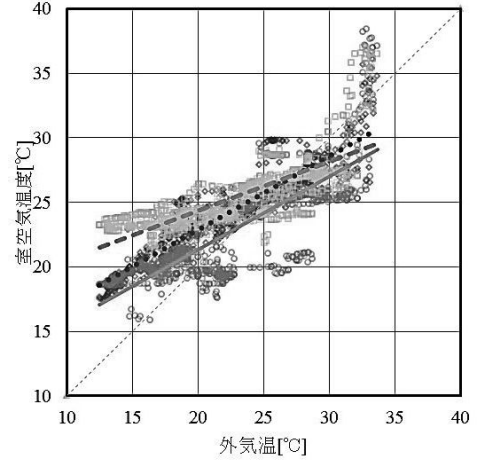


図 9 代表的な各種住居間の比較(夏季)

- ①-1 固定式ゲル A氏宅敷地内/周囲壁付近
- ②-1 SB住宅1 A氏宅/居間中央
- ⑤-1 集合住宅2 B氏宅/居間西側
- ⑦ 外気温 Tホテル



- ①-1 固定式ゲル A氏宅 $\text{①-1 } y=0.571x+11.439$
 $R^2=0.8412$
- ②-1 SB住宅1 A氏宅/居間中央 $\text{②-1 } y=0.567x+10.02$
 $R^2=0.6543$
- ⑤-1 集合住宅2 B氏宅/居間西側 $\text{⑤-1 } y=0.3782x+16.809$
 $R^2=0.5899$

図 10 代表的な各種住居間の室空気温と外気温の相関(夏季)

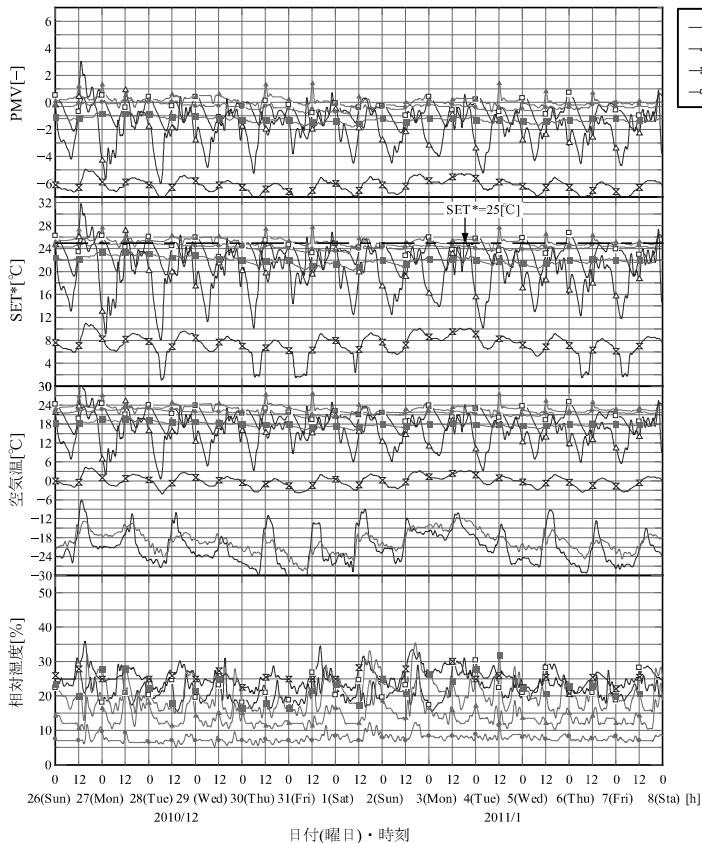
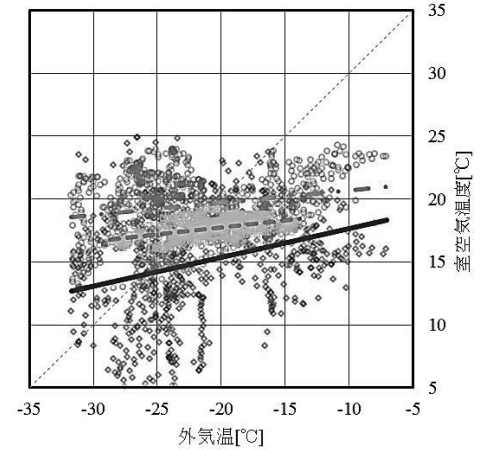


図 11 代表的な各種住居間の比較(冬季)

- ①-1 外気温 A氏宅
- ①-2 固定式ゲル A氏宅敷地内/中央
- ①-3 固定式ゲル A氏宅敷地内/下部
- ②-1 SB住宅1 A氏宅/居間中央
- ⑤-1 外気温 B氏宅
- ⑤-2 集合住宅2 B氏宅/居間上部
- ⑤-3 集合住宅2 B氏宅/居間中央
- ⑤-4 集合住宅2 B氏宅/居間下部



- ①-2 固定式ゲル/中央 $\text{①-2 } y=0.2279x+19.91$
 $R^2=0.0763$
- ②-1 SB住宅1 A氏宅/居間中央 $\text{②-1 } y=0.097x+21.654$
 $R^2=0.0498$
- ⑤-3 集合住宅2 B氏宅1980年ソ連式/居間中央 $\text{⑤-3 } y=0.1098x+19.952$
 $R^2=0.2275$

図 12 代表的な各種住居間の室空気温と外気温の相関(冬季)

- ることで断熱性・気密性にばらつきが見られた。
- (2)SB 住宅の設計内容・施工レベルがほぼ似ていることで、2 棟とも似た変動になった。また、開口を開けての通風や隙間風が多く、外気温の影響を受けやすいことが分かった。
- (3)冬季の SB 住宅は PMV,SET*の値より「やや寒い」か「寒い」という評価であったため、着衣量を増やすことで十分に快適に過ごせる。
- (4)固定式ゲルは外気の影響を受けやすく、夏の一時期を除いて他の住居形式に比べて明らかに快適性は低いと言える。特に冬季は固定式ゲル内の中央部で PMV が $-5.5\sim-1$,SET*が $2\sim10^{\circ}\text{C}$ で上下変動が大きく「かなり寒い」という評価になった。このことから、固定式ゲルで冬季は特に不快さ(寒さ)を補うため暖房用エネルギー消費が常になくなると思われる。
- (5)温熱快適評価指標である PMV と SET*は共に、夏季の暑い場合での評価にばらつきがあまり出ないが、冬季の寒い場合での評価では大きく違いが表れる。
- 最終的にはモンゴル式もソ連式も集合住宅が夏季・冬季を通して最も安定かつ快適であるため、可能であればゲル地区住民の移住を進めることが望ましい。しかし、現在の UB 市では集合住宅の絶対数が不足していることと、貧困などの要因より、現時点である程度良好な温熱環境である SB 住宅の断熱方法や気密性を手軽かつ安価に向上させられるような手法(例えば隙間風防止材や、施工の確実さ)の導入により、早期に断熱性能を向上させ住みやすかつ無駄な石炭の消費をならないようにしていくことが重要であると考えられる。

謝辞

この研究は平成 22 年度科学研究費補助金(一般研究 B・海外学術調査「モンゴルの首都ウランバートルにおける環境汚染の可視化」課題番号21404004,代表:森茂龍一都城高専教授)によって行われた。また実測に当たっては住居の選択・ロガーの設置・データの回収等で国立モンゴル科学技術大学の教職員並びに学生の方に一方ならぬご協力を頂いた。作図やデータ処理に関しては都城高専建築学専攻 2 年の榎木勇也君の労が大きい。記して謝意を表します。

参考文献

1)JICA,Prospective of Urban Development in Ulaan-

- baatar,2007
- 2)石川祥平,羽山広文,絵内正道,菊池弘輝,E.PUREV-ERDENE,加藤淳:モンゴル国ウランバートル市のゲル地区における定住型ゲルの室内温熱環境調査,日本建築学会大会学術講演梗概集,pp.53-54,2007.8
- 3)石川祥平,羽山広文,絵内正道,菊池弘輝,E.PUREV-ERDENE,加藤淳:モンゴル国ウランバートル市のゲル地区における建物室内環境調査,日本建築学会北海道支部研究報告,pp.227-230,2007.7
- 4)小原聡司:モンゴル国ウランバートル市における各種住居の夏季室内温熱環境の実測調査,都城工業高等専門学校研究報告,pp.41-48,2012.1
- 5)GoogleEarth:<http://www.google.co.jp/intl/ja/earth/index.html>
- 6)木村建一編,建築環境学 1,pp.139-145,丸善,1993.4
- 7)AP.Gagge, A STANDARD PREDICTIVE INDEX OF HUMAN RESPONSE TO THE THERMAL ENVIRONMENT, ISO-86-14 No.1, pp.709-731
- 8)佃亮太,長谷川麻子:熊本地域における放射冷暖房設備と温熱快適性 - 戸建て住宅における夏季実測例 -,日本建築学会大会学術講演梗概集,pp.391-392,2012.9
- 9)湊正樹,崔軍:壁放射冷暖房システムを利用した室内の温熱環境に関する研究その1 暖房時の上下温度分布について,日本建築学会中国支部研究報告集 第 33 巻,pp.1-4,2010.3