ネパール各地の伝統的住宅における夏季の温熱環境

SUMMER THERMAL ENVIRONMENT IN TRADITIONAL VERNACULAR HOUSES IN SEVERAL AREAS OF NEPAL

リジャル ホム バハドゥル*, 吉田 治典**, 梅宮 典子***
Hom Bahadur RIJAL, Harunori YOSHIDA and Noriko UMEMIYA

For the purpose of evaluation and improvement of the thermal environment in traditional vernacular houses of the Banke, Bhaktapur, Dhading, Kaski and Solukhumbu districts of Nepal, the summer thermal indoor environment was measured and investigated in regards to: 1) the relationship between indoor and outdoor climate and 2) in comparison with existing studies.

The thermal environments of the houses investigated are as followings, 1) residents mitigated the thermal environment by moving in indoor, semi-open and outdoor spaces, 2) daytime indoor air temperature was 0.7 to 4.6K less than the outdoor air temperature, 3) the thermal environment of the semi-open spaces was better than those of the indoor, 4) a cool radiation and air moisture control effect was found in houses with earthen floors, stone walls, brick walls and mud vessels, 5) the thermal environment of traditional houses was better than new type of houses, 6) much heat insulation was found in houses with grass, brick and wooden roofs, 7) a cool radiation effect was found in houses with grass, brick, stone, tile, cement and corrugated iron roofs, 8) the indoor and outdoor temperature difference was small in low altitude locations and large in high altitude locations, and 9) compared with existing studies, Nepalese and Japanese houses had comparable indoor and outdoor temperature differences in summer (1.2K) and in winter (2.2K).

Keywords: Nepal, Traditional vernacular houses, Earthen floor,

Surface temperature, Cool radiation, Regional difference

ネパール, 伝統的住宅, 土間, 表面温度, 冷放射, 地域差

1. 序

ネパールは、面積は約147,181km²(北海道の約1.8倍)と小さいながら、標高は60mから8848mに及び、亜熱帯から寒帯まで気候の変化に富んだ国である。同じ気候帯や民族、宗教、文化圏で類似した伝統的住宅形式がみられ、気候風土と建築の関連性が認められる。例えば、南部の亜熱帯地域では土間を持つ平屋の土壁造り住宅がみられ、中部温帯地域では、カトマンズ盆地に密集市街地に建つ4,5階建て煉瓦造の町家がみられ、山岳地帯に土間や半外部空間を持つ2,3階建て石造住宅、楕円形平面の草葺き住宅がみられる。北部のヒマラヤ地方の冷帯地域では斜面を活かしたシェルパ族の2,3階建て石造住宅がある。建築環境工学の側面からみて、これらの伝統的住宅には地域特性を活かした快適な温熱環境を得る次のような工夫がみられる。例えば、1)日射を遮蔽する軒出や屋根形式、2)風通しの良い木造の開放的な半外部空間の利用、3)石、土、草、木などの建材の熱特性を活かした構法、などである。人々は自然環境と共生しながら、冷暖房設備を用いずに生活してきた。

近年、ネパールも近代化の影響をうけて近代的な生活が希求され、効率や利便性が追求されるようになってきたが、解決すべき住宅環境問題もある。具体的には、1)台所と寝室が分離されていないことに起因する、開放型いりからの灰やすすによる寝具の汚れ、2)調

理のための薪燃焼による発熱や発煙、3)伝統的建材の代替としての工業建材の安易な使用(トタン屋根など)に起因する室内温熱環境の悪化、4)建築空間利用形態の変化(上下階の独立化、窓のサイズや位置の変化)への対応の遅れなどである。5)また、最近では薪の無計画な消費による森林資源の枯渇も問題視されてきており、エネルギー源である薪の適切な利用の検討も課題である。

さて、既報¹⁾ではネパールの山岳地帯の伝統的住宅について、冬季の内外温度差、上下温度差などという、温熱環境の実態を明らかにした。本報ではその結果を踏まえ、上記した、2)~4)の問題に焦点を絞り、既報で対象とした地域を含む、ネパールの気候を代表する5つの地域の伝統的住宅について、夏季の室内外温熱環境や土間・壁・屋根などの表面温度を測定し、各地域の住宅の特色を明らかにする。また、日本や中国の伝統的住宅に関する既往の研究で報告されている内外温度差を本研究の結果と比較し相互の環境の類似性について検討する。なお、上記5)の課題は次報により明らかにする予定である。

2. 5つの地域と調査対象住宅

調査対象地域は亜熱帯気候(S)のBanke郡(A)、温帯気候(T)のBhaktapur郡(B)、Dhading郡(C)、Kaski郡(D)と冷帯気候(C)の

* 京都大学大学院工学研究科環境地球工学専攻
博士課程・工修

** 京都大学大学院工学研究科環境地球工学専攻 教授・工博

*** 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 講師・工博

Graduate Student, Dept. of Global Environment Eng., Faculty of Eng., Kyoto University, M. Eng.

Prof., Dept. of Global Environment Eng., Faculty of Eng., Kyoto University, Dr. Eng.

Lecturer, Dept. of Urban Engineering, Osaka City University, Dr. Eng.

図1 各地域の位置[標高]

図2 各地域の月別平均外気温

図3 各地域のクリモグラフ

S_{A1}の平面図

S_{A2}(新型住宅)の平面図

図4 各地域の月別平均雨量

A-A断面図

B-B断面図

T_{B1}(新型住宅)の平面図

B-B断面図

T_{C1}(新型住宅)の平面図

C-C断面図

図5 各地域の住宅の平面図と断面図 [☆: 温湿度測定点, ★: 温度測定点, □: 半外部空間, 単位: mm]

表1 各地域の概要

郡名	所在地	海拔[m]	気候区	地勢	5月/1月の T_{out}	5月/1月の H_{rel}	降水量[mm]	観測地点(気象台)	宗教	民族	地区	生計	燃料
1)Banke(S_A)	Mahadevpuri 区-1 Mahadev 村	≒150	亜熱帯(S)	平地	31.4/15.2	53/80	1391	Nepaljung (Reg.Off.)	ヒンドゥー, 土着	タルー	農村	田畑, 家畜	薪*
2)Bhaktapur(T_B)	Bhaktapur 市-1 Tachapal 町	≒1350	温帯(T)	盆地	22.2/10.6	64/82	1391	Kathmandu Airport++	ヒンドゥー, 仏教	ネワール	都会	商売, 田畑	電気**
3)Dhading(T_C)	Jyamrung 区-1 Salle 村	≒1500	温帯(T)	山地	25.4/13.3	70/76	1460	Dhunibesi	ヒンドゥー	チェトリ	農村	田畑, 家畜	薪*
4)Kaski(T_D)	Dhampus 区-5 Sude 村	≒1700	温帯(T)	山地	18.8/8.9	75/80	5391	Lumle	ヒンドゥー	チェトリ	農村	田畑, 家畜	薪*
5)Solukhumbu(C_E)	Salleri 区-1 Chhiwang Khop 村	≒2600	冷帯(C)	ヒマラヤ地	13.1/4.0	76/80	1718	Chalisa	仏教	シェルバ	農村	田畑, 家畜	薪*

Tout:外気温[°C], Hout:外気相対湿度[%], +:1987-1996 の平均値, ++:Kathmandu 郡(調査地から近い気象台), *:照明に灯油を利用, **:調理に電気ヒーター, 灯油ストーブ, 麦藁, 薪を利用

Solukhumbu郡(E)(以下 S_A, T_B, T_C, T_D, C_E と略)である。図1に位置と気候区, 図2に月別平均外気温, 図3にクリモグラフ, 図4に月別平均雨量を示す^{1), 3)}。一般に, 各地域とも5月が最も暑いといわれている。これは6,7月の平均外気温は高いが, 6月から雨季となり, 最高気温が5月より低くなるので, 日較差も小さく, 暑さを感じないためと思われる。 S_A (5月)の外気温は東京(8月)と類似しているが, 内陸気候であるため, 相対湿度が東京より低く, 日陰では涼しく感じられる。

表1に各地域の特質, 代表的な気象統計値¹⁾, 生活習慣などを示す。 S_A, T_C, T_D, C_E は農村であり, 田畑, 家畜と薪(燃料)を基本とした自給自足の生活が行なわれている。 T_B は都市であり, 商業従事者や勤め人が多く, 調理には主に電気, 灯油を燃料としている。

図5に各地域の代表的¹⁾な実測住宅の平面図と断面図を示す。表2に実測住宅の概要を示す。「住宅数」とは実測した全住宅数であり, 節4.2.11と4.3ではこの住宅数の内外温度差について考察する。「詳細実測」住宅とは実測住宅中, 表面温度も測定した住宅であり, これに関しては節4.2で様々な観点から詳細な分析を行う。

2.1 Banke 郡(S_A)⁴⁾

Mahadev村では切妻屋根の平屋が一般的である。図5(a)に S_{A1} と S_{A2} の詳細実測住宅を示す(S_{A1} と S_{A2} は省略)。 S_{A1} は草葺きで, 台所, 寝室, 祈り部屋からなる。平屋であるため住宅平面が大きく, 天井高も高く, 空間構成は開放的である。部屋はDeheri¹⁾(穀物を保存する巨大壺, 以下単に壺と呼ぶ)と土壁の内壁で仕切られるが, 内壁の高さは約1.8mと低く, 内部は一室空間である。床は土間床である。外壁は厚さ約10cmの土壁³⁾であり, 約1mの高さに2,3個の直径約10cmの穴を設け, 採光する。壁は土の重さで徐々に低くなり, 外壁上端と屋根の間には1m以上の隙間ができ, この隙間が採光や, 換気, 排煙の役割を果たす。 S_{A2} は, 厚さ約35cmの日干し煉瓦造の粘土瓦葺きで, 最近4,5年来流行の新型住宅である。内部は S_{A1} と同様であるが, 壁に開閉可能な窓を設け, 軒下があり, 台所はその一部にある。 S_{A3} は木柱だけで壁の無い開放的な草葺きで, 作業場, 畜舎である。 S_{A4} は日干し煉瓦造のセメント瓦葺きで, 寝室と祈り部屋である。

2.2 Bhaktapur 郡(T_B)⁵⁾

Tachapal町では4,5階建ての煉瓦造住宅が一般的である。図5(b)に T_{B1} の詳細実測住宅を示す(T_{B2} は省略)。 T_{B1} はトタン葺きで, 階ごとに空間が分離され, 1階に店舗, 水場, トイレ, 2階に寝室, 3階に居間兼寝室, 4階に台所, 5階に倉庫がある。床は1階は土間とコンクリート, 地上階は木板の上を粘土で固めている。外壁は厚さ約50cmの煉瓦造で, 内部は粘土モルタルで仕上げる。壁は一面のみ外気に面し, 他は隣戸と共有する。窓枠は木製でガラス入りである。 T_{B1} の屋上は煉瓦張り, 4階の屋根裏部屋は台所と作業場である。

2.3 Dhading 郡(T_C)⁶⁾

Salle村は既報¹⁾の調査対象地域である。2,3階建ての各階1室空間形式の住宅が一般的である。図5(c)に T_{C1} の詳細実測住宅を示す(T_{C2} と T_{C3} は省略)。 T_{C1} は石板葺きで, 1階が台所兼寝室, 2,3階が穀物保存倉庫である。床は1階が土間床, 2,3階が木板の上を粘土で固めて

いる。壁は厚さ約

50cmの石造⁴⁾で, 内外から粘土モルタルを塗って仕上げる。窓は木製で, 透かし彫り窓, 戸なし窓, 戸付き窓の3種類がある。半外部空間として1階の

2.4 Kaski 郡(T_D)^{7), 8)}

Sude村では2階建ての各階1室空間形式の住宅が一般的である。20年ほど前までは楕円形平面の住宅が一般的であった。楕円形住宅を作ると幸福になると信じられており, また壁に積み重ねる石の形が自由で, 矩形平面の壁のように石を刻んで角を合わせる必要がなく施工が楽なので普及してきた。しかし調査時には楕円形住宅は近郊の村も含めて2戸しか残存しなかった。草葺き屋根の材料確保が困難になり, 石板やトタンが屋根の形に合わず, 家具も置きにくいことなどが原因である。図5(d)に T_{D1} と T_{D2} の詳細実測住宅を示す。 T_{D1} は楕円形平面の伝統的草葺き住宅で, 1階が台所兼寝室, 2階が穀物保存倉庫である。 T_{D2} の新型住宅は矩形平面を持つ石板葺きで, 1階は寝室(軒下), 台所兼寝室, 2階が倉庫である。床, 壁, 窓構法はともにDhading郡と同様である。

2.5 Solukhumbu 郡(C_E)⁹⁾

Chhiwang Khop村では斜面を断面計画に活かした2,3階建て住宅が典型的である。住宅の規模は大きく, 室内は目的別に仕切られる。図5(e)に C_{E1} の詳細実測住宅を示す。 C_{E1} は木板葺きで, 1階が畜舎, 2階が仏間(Gumba), 寝室と台所兼居間, 3階が倉庫と寝室である。仏間は寝室としても利用される。床は1階が土間床, 2,3階が木板張りである。壁は厚さ約50cmの石造で, ガラス窓が設けられている。

3. 測定概要

3.1 測定日時

測定は2000年4~5月の夏季の代表的な時期に各地域で5日間ずつ行った。分析日として, 測定期間中の晴天日をそれぞれ1日選定した。これらの外気温(表4)は, 気象台(表1)の月別平均外気温に近いことから, 夏季の代表的な天候と考えられる。日時は表4に示す。

3.2 測定項目, 測定位置, 測定方法

表3に測定項目と使用機器を示す。測定項目は, 外部環境として温湿度, 日射量, 風向風速, 内部環境として温湿度, グローブ温度とした。日射量, 風向風速, 外気温は, 建物から25m離れた障害物のない地上1.5mで, T_B のみ屋上1.5mで測定した。外気温湿度の測定にあたっては, 日射の影響を避ける工夫をした。

測定位置は図5に示す。室内温湿度は, 各室ほぼ中央の床上0.1m, 床上0.6m, 天井下0.1m, 屋根裏下0.1m(以下, 屋根裏付近と略)と

表3 測定概要と使用機器

空間	測定項目	測定位置[m]	測定機器(*,+: データロガー)
外部	日射量	地上1.5*	日射計 H-205 (横河電子機器)*
	風速		風速計 A-702 (横河電子機器)*
	風向		風向計 A-802 (横河電子機器)*
	外気温		T 型極細熱伝対, 直径0.08mm *
半外部 内部	外気湿度	地上1.5*	携帯型湿度計 TR-72 (T & D)
	室内温度		携帯型温度計 TR-71 (T & D)
	床付近気温		携帯型温度計 TR-72 (T & D)
	天井付近気温		携帯型温度計 TR-72 (T & D)
	天井下0.1		携帯型温度計 TR-72 (T & D)
	グローブ温度		T 型極細熱伝対, 直径0.08mm +
内部	表面温度	床上0.6	グローブ温度計, 直径15cm(柴田)+
	室内風速	床上0.6	微風速計, AM-03 (RION) +

*:T₁都は屋上1.5m, *:Thermic 2100A 江藤電気, +:Keyence NR-1000

表4 各地域の住宅空間における日平均気温, 表面温度, 相対湿度と絶対湿度

調査地名 分析日(2000年)	住宅名	空間名	測定階	平均気温 [°C, K]			床表面温度 T _{sf}			壁表面温度 T _{sw}			相対湿度		絶対湿度	
				外気温 T _{out}			内外温度差			測定面			H _{out} H _{in}		X _{out} X _{in}	
				室温 T _{in} [°C]			T _{in} -T _{out} [K]			T _{sf} T _{sw} T _{in}			H _{out} H _{in}		X _{out} X _{in}	
				全日	昼間	夜間	全日	昼間	夜間	全日	昼間	夜間	全日	昼間	全日	昼間
1)Banke(S _A)	分析日:5月10日 ☆:附属屋の値	S _{A1}	外部T _{out} , D _{out} , X _{out} *	32.4	36.6	28.8							52		15.1	
			1F	31.5	32.1	30.8	-0.9	-4.5	2.0	29.1	-2.4	S	33.2	1.7	51	-1
			2F	31.9	33.7	30.1	-0.5	-2.9	1.3				50	-2	14.9	-0.2
			3F	31.1	32.0	30.1	-1.3	-4.6	1.3	30.6	-0.5	S	32.8	1.7	53	1
2)Bhaktapur(T _B)	分析日:5月24日	T _{B1}	外部T _{out} , D _{out} , X _{out} *	22.4	23.8	21.1							74		14.6	
			1F	23.2	23.1	23.3	0.8	-0.7	2.2				73	-1	15.2	0.6
			2F	23.2	23.1	23.3	0.8	-0.7	2.2	26.0	1.7	W	25.3	1.0	69	-5
			3F	24.3	24.6	24.1	1.9	0.8	3.0	28.2	3.8	N	25.0	0.6	69	-5
3)Dhading(T _C)	分析日:4月22日 B:パルコニー部屋 ☆:軒下の値	T _{C1}	外部T _{out} , D _{out} , X _{out} *	20.1	21.9	18.4							66		12.0	
			1F	20.9	22.3	19.5	0.8	0.4	1.1	25.2	-3.6	E	26.0	-2.8	44	-22
			2F	21.1	22.3	19.9	1.0	0.4	1.5	25.5	1.3	N	24.5	0.3	65	-1
			3F	24.2	24.6	23.7	4.1	2.7	5.3	23.7	1.8	N	22.6	0.7	55	-11
4)Kaski(T _D)	分析日:4月30日 ☆:軒下の値	T _{D1}	外部T _{out} , D _{out} , X _{out} *	19.5	21.7	17.2							63		11.0	
			1F	19.9	21.4	18.5	0.4	-0.3	1.3	21.0	-0.6	E	21.4	-0.2	59	-4
			2F	21.6	21.8	21.5	2.1	0.1	4.3	21.3	1.0	W	21.1	0.8	60	-3
			3F	20.3	20.9	19.8	0.8	-0.8	2.6				60	-3	11.0	0.0
5)Solukhumbu(C _E)	分析日:5月17日	T _{E1}	外部T _{out} , D _{out} , X _{out} *	15.5	17.3	13.7							88		13.3	
			1F	16.6	16.6	16.5	1.1	-0.7	2.8	19.6	0.9	S	19.6	0.9	87	-1
			2F	18.7	18.8	18.7	3.2	1.5	5.0				71	-17	13.2	-0.1
			3F	18.1	18.2	18.0	2.6	0.9	4.3	19.9	0.2	W	18.9	-0.8	74	-14

☆:半外部空間, *:屋根裏部屋, H_{out}とH_{in}:外部と室内相対湿度[%], X_{out}とX_{in}:外部と室内絶対湿度[g/kg], 昼間:6:00~18:00, 夜間:0:00~6:00と18:00~24:00, L:Living, B:Bed, K:kitchen, D:Dining, N:North, S: South, E:East, W:West

した。グローブ温度と室内風速は床上0.6mで測定した。表面温度は床, 壁, 屋根の表面に熱電対を薄いテープで貼って測定した。測定値は5分間隔で記録し, 風向以外は変動の緩やかなデータを得るためローパスフィルターで処理した。住まい方の把握のため, S_A10人, T_B12人, T_C17人, T_D19人, C_E9人に聴き取り調査を行った。

4. 結果と考察

図7に各地域の住宅における温熱環境の時刻変化を, 表4に各空間の外気温, 内外温度差, 表面温度, 湿度の時間平均値を示す。

4.1 各地域の気象条件

各地域の最大日射量は713(C_E)~846W/m²(T_C)であった。日平均風速は外部で0.3(S_A)~0.8m/s(T_B, T_C), 室内で0.1(T_B, C_E)~0.4m/s(T_C)であった。各地域の日平均外気温と相対湿度は15.5(C_E)~32.4°C(S_A)と52(S_A)~88%(C_E)の範囲にあり, 最大16.9Kと, 36%の地域による差がある。日平均室温は17.5(C_E)~35.3°C(S_A)の範囲にあり, 最大17.8Kの地域による差がある。日平均グローブ温度は20.7(C_E)~33.0°C(S_A)で, T_Cでは室温よりも0.5K低く, S_Aでは室温よりも1.9K高い。

4.2 各地域の比較

4.2.1 移動による温熱環境の緩和

図6に各地域の滞在場所と滞在時間の割合を示す。軒下, パルコニーは「半外部」, 庭, 畜舎, 路地, 広場, 屋上テラスは「前庭」, 畑, 森は「外部」に分類した。時間帯は, 気温の低い5~10時を「朝」,

図6 各地域の滞在場所・滞在時間の割合

日射が強い11~16時を「昼」, 日射が弱い17~19時を「夜」, 就寝する20~翌日4時を「夜」とした。図中の「朝」「昼」「夜」はそれぞれの時間帯で各場所に滞在する人数の全人数に対する割合, 「時」はそれぞれの場所に滞在する時間の24時間に対する割合である。

居住者の滞在場所と滞在時間の傾向は, ①S_A, ②T_B, C_E, ③T_C, T_Dの3つに分類できる。①と③では朝・夕は前庭に, 昼は半外部に滞在し, 夜は①では前庭に, ③では内部や半外部に滞在する。

具体的に説明すると, S_Aでは昼間はベッド用のひもや木

製ベッドを作って働き, 夜間は前庭でハンモックの様なベッドに蚊帳をつって就寝することが多い。団扇を使用し, 暑さをしのぐために一日3,4回水浴する習慣もある。T_BとC_Eでは半外部空間がなく, T_Bでは昼間はテレビをみながら作業し, 朝と夕方は屋上テラス, 路地, 広場などで作業や休憩をし, C_Eでは夏季でも厚着で温茶を大量に飲用し, 台所で生活の大半を過ごす。T_C, T_Dの開放的な軒下は日陰や冷風を確保できるので, 作業, 休憩, 接客などに利用される。居住者は日射や気温の変化にあわせて前庭, 半外部と内部に移動している。

4.2.2 昼間の室温抑制

図7(a)に外気温, 室温とグローブ温度の時刻変化を示す。平均値は表4に示す。昼間の室温は, 室別にみると外気温より低い地域もある。昼間の平均室温は外気温より4.6K(S_A), 0.7K(T_B), 0.8K(T_D), 0.7K(C_E)低く, 地域による差は最大3.9Kであり, S_Aで内外差が特に大きい。これはS_Aでは土間床, 土壁, 日干し煉瓦や壺, 開放的で大きな平面や断面, 上部の大きな開口部の効果であると思われる。またT_Bでは煉瓦造で熱容量が大きく, 外気に面する壁が一面しかなく, また下部階の室内に入射する日射が少ない密集市街地であること, T_Dでは土間や石造であること, C_Eでは畜舎が土間で石造であり, 土斜面を削っただけの北向きの壁であることの影響が考えられる。T_Bの1階と2階では室温が終日23°C付近で安定している。

4.2.3 薪燃焼による室温上昇

台所では開放型いりろで薪燃焼して調理を行っているため, 調理時に室温の上昇がみられる(図7(a))。表4に示すように台所の日平均

(f) 屋根付近気温と屋根裏表面温度
図7 各地域の住宅における温熱環境の比較

気温は外気温より $3.8\text{K}(S_A)$, $2.0\text{K}(T_B)$, $8.7\text{K}(T_C)$, $2.1\text{K}(T_D)$, $4.2\text{K}(C_E)$ 高い。 T_B で内外温度差が小さいのは窓を開放しながら主に電気ヒーターや灯油ストーブ(一時間程葉と粉殻燃焼)を使用していたためと思われる。 T_C で内外差が比較的小さいのは、薪を節約して一回に燃やす量が少なかったためである。他の地域では、一回に燃やす薪の量が多く、大きな室温上昇がみられる。薪からの発生熱により S_A , T_C の台所では室温が 41.9°C , 38.9°C まで上昇している。 T_C の2階の室温は外気温より日平均で 4.1K 高いのは、薪燃焼の影響が階段吹き抜けを通じて及んだ結果であると思われる。 C_E の3階の倉庫でも同様の傾向がみられる。居住者は調理中の汗と暑さに不快を訴えていた。

4.2.4 日射に左右される屋根裏部屋

屋根裏部屋は他の部屋より開放的であるにも関わらず、夜間の平均室温は外気温より $2.2(T_C) \sim 3.4\text{K}(T_D, C_E)$ 高い(表4)。これは断熱されていないトタンや石板の屋根から入る日射熱が床や壁に蓄えられ、夜間に放熱されたためと考えられる。対策として、夏季の屋根は開口部を閉鎖し、屋根に断熱材を設けて放射熱を遮断し、夜間に開口部を開放することが考えられる。

4.2.5 夏季に適した開放的な半外部空間

半外部と外部の温度差(半外部-外部)は、全地域とも昼間より夜間の方が大きく、昼間平均は $-2.9(S_A) \sim +0.4\text{K}(T_C)$ 、夜間平均は $+1.1(T_C) \sim +1.5\text{K}(T_C)$ である(表4)。 S_A , T_D で半外部の気温が昼間に外気温より低いのは、日陰になった土間や壁の冷却効果によると思われる。半外部は午後1,2時間は日射が入るものの風通しが良く、昼間の作業や夜間の就寝に利用されていた。

4.2.6 床、壁からの放射冷却効果

図7(b)に外気温、床表面温度、壁表面温度、図7(c)に床表面温度と室温の差($T_{sf} - T_{in}$)、壁表面温度と室温の差($T_{sw} - T_{in}$)の時刻変化を示す。平均値は表4に示す。日平均表面温度は、室温より土間 T_{sf} で $2.4\text{K}(S_A)$, $3.6\text{K}(T_C)$, $1.4\text{K}(T_D)$ 、壁 T_{sw} で $2.8\text{K}(T_C)$, $0.2\text{K}(T_D)$, $0.8\text{K}(C_E)$ 低い。 T_C では、薪燃焼の影響で室温が上昇し、土間や壁の表面温度と室温との差が大きい。 S_A の土と T_D の煉瓦壁の表面温度 T_{sw} は、日平均では室温よりともに約 1K 高いが、昼間には S_A で最大 0.8K , T_D で 0.9K 低い。土間、石造、煉瓦造、壺の蓄冷効果が示された。

4.2.7 伝統的住宅と新型住宅の比較

伝統的住宅の S_{A1} (土壁), T_{D1} (楕円形平面)と、新型住宅の S_{A2} (煉瓦), T_{D2} (矩形平面)を比較する。昼間の表面温度は、伝統的住宅は新型住宅より土間では S_{A1} で 1.6K 低く, T_{D1} で 1.6K 高く、壁では S_{A1} で 1.5K 高く, T_{D1} で 1.0K 低い(図7(b),(c))。これは S_{A1} は上部に開口部があるため外気が土間に与える影響が小さいが、 S_{A2} は窓があるため外気が土間に与える影響が大きいからである。また、 S_{A1} は土壁

が薄く日射の影響が大きい、 S_{A2} は煉瓦壁が厚く日射の影響が小さい。さらに、 T_{D1} の方が薪の消費量が多く、土間表面温度が T_{D2} より高いが、 T_{D1} の方が開口部が小さく壁表面温度は低い。新型住宅で室温を下げるには、 S_{A2} で上部に開口部を設置し、 T_{D2} で開口部を気密化するべきであろう。

4.2.8 土間、石造、煉瓦造の調湿作用

図7(d)に外部と室内の相対湿度、図7(e)に外部と室内の絶対湿度の時刻変化を示す。図8に内外絶対湿度の平均値、最小値と最大値を示す。平均値は表4に示す。各地域の室内の日平均相対湿度は外部より低く、 T_C と C_E では差が大きく最大23%に及ぶ。 T_C の台所では薪燃焼によって室温が上昇し、 C_E では窓閉鎖の習慣によって室内空気が乾燥することに関係していると思われる。他の地域は開放的であり、内外の差は僅かであった。また、各地域の室内の日平均絶対湿度は外部より 0.2g/kg' 低い場合もあるがほとんどで室内のほうが高く、最大 0.8g/kg' 高い。各地域とも台所の湿度が高いのは、調理で発生した水蒸気のためである。室内の絶対湿度の日較差は最も小さい部屋で外部より $2.0(S_A)$, $2.2(T_D)$, $1.8(T_D)$, 4.1g/kg' (C_E) 小さく(図8)、石造、煉瓦造、土壁の調湿作用が示された。

4.2.9 屋根の熱的性能

図7(f)に外気温、屋根裏付近気温(T_{ag})、屋根裏表面温度(T_{sf})の時刻変化、図9に外気温、表面温度の平均値、最小値と最大値を示す。表5に屋根裏付近気温と屋根裏表面温度の平均値を示す。

各地域の屋根裏付近気温は外気温より $0.4(S_A) \sim 6.6\text{K}(C_E)$ 高い。また、屋根裏表面温度は外気温より $1.8(T_C, T_D) \sim 7.6\text{K}(T_D)$ 高い。屋根裏表面温度は、屋根裏付近気温より高い。

各地域の草葺きの屋根裏表面温度は最大 $48.1^\circ\text{C}(S_A)$, $26.0^\circ\text{C}(T_D)$, $24.1^\circ\text{C}(T_D)$ で、日較差は $18.1\text{K}(S_A)$, $7.0\text{K}(T_C)$, $6.0\text{K}(T_D)$ であり、亜熱帯では表面温度も日較差もともに大きい。草葺きの厚さが亜熱帯で20cm、温帯で60cmであるという違いによると思われる。また、 T_D の煉瓦張りや C_E の木板葺きの表面温度は最大 28°C と 26.9°C 、日較差は 3.4K と 9.9K であり、熱的性能は草葺きに近く、煉瓦張りや木板葺きで日射の影響が少なく、断熱性の高さが示された。

S_A の粘土瓦葺きの屋根裏表面温度は最大 45.7°C で、日較差は 16.8K である。粘土瓦葺きには断熱が施されておらず、屋根裏付近に熱気が溜まるためと思われる。また、石板葺きの屋根裏表面温度は最大 $42.9^\circ\text{C}(T_C)$, $44.9^\circ\text{C}(T_D)$ 、日較差は $27.1\text{K}(T_C)$, $29.8\text{K}(T_D)$ であり、表面温度も日較差もともに大きい。これらの石板葺きの温度上昇は同じ地域の草葺きより大きい。 T_C の石板は約 $20\text{cm} \times 20\text{cm} \times 2\text{cm}$ と薄型で小さく、石板の間に多くの隙間があるのに対して、

図8 内外絶対湿度の平均と変動幅

図9 外気温と屋根裏表面温度の平均と変動幅

T_j の石板は約80cm×50cm×5cmと厚型で大きく、石板の間にほとんど隙間がないことによる違いであると思われる。即ち、 T_j の屋根は T_c の屋根より屋根裏付近に熱気が溜まりやすく表面温度上昇が大きいといえる。伝統的な建材である粘土瓦・石板葺きは日射の影響を受けやすく、断熱性の低さが示された。

トタン葺きの屋根裏表面温度は最大60.4°C (T_j), 60.9°C (T_c), 日較差は40.4K (T_j), 49.3K (T_c)であり、トタン葺きは表面温度も日較差もともに大きい。また、 S_A のセメント瓦葺きの屋根裏表面温度は最大52.2°C, 日較差は25.6Kであり、表面温度も日較差もともに大きい。トタン・セメント瓦葺きは日射により温度が上昇し、断熱されていないため室内への影響がみられた。工業建材であるトタン・セメント瓦葺きに断熱の不備が示された。

4.2.10 屋根材の放射冷却効果

昼間の屋根裏表面温度は外気温より草葺きで最大4.4K (S_A), 0.7K (T_c), 1.9K (T_j), 粘土瓦葺き, セメント瓦葺き, 煉瓦張り, 石板葺きでそれぞれ最大1.8K (S_A), 1.6K (S_A), 1.0K (T_j), 3.9K (T_j)低い。 T_j では草葺きの屋根裏の平均表面温度は外気温と等しく、昼間の温度抑制に効果があった。夜間の屋根裏の最低表面温度は外気温に比べて T_c の石板葺きで1.3K, トタン葺きで5.4K低い。 T_c の屋根裏の夜間平均表面温度は、石板葺きでは外気温と等しく、トタン葺きでは外気温より2.5K低く、夜間の温度低下に効果があった。草葺き, 煉瓦張り, 石板葺き (T_j)は昼間に、石板葺き (T_c), トタン葺きは夜間に放射冷却効果がみられた。

4.2.11 海拔による内外温度差の差異

表6に全実測住宅の内外温度差の範囲と地域ごとの平均値を示す。半外部と外部の温度差は除いた。各地域の海拔と日平均内外温度差の関係は、海拔の低い地域 (S_A , 150m)では小さく (-0.3K), 海拔の高い地域 (C_j , 2600m)では大きい (2.3K)。平均内外温度差と海拔の相関は高く ($r=0.85$), 低地では開放系住居, 高地では閉鎖系住居であ

表5 各地の屋根裏付近気温と屋根裏表面温度

屋根材	地域	$T_{ac}-T_{out}$ [K]	$T_{sr}-T_{out}$ [K]	屋根裏表面温度 (T_{sr}) [°C]	最高	最低	日較差
草	S_A	1.2	4.0	48.1	30.0	18.1	
	T_c	0.5	1.8	26.0	19.0	7.0	
	T_j	1.8	1.8	24.1	18.1	6.0	
煉瓦	T_j	-	3.6	28.0	24.6	3.4	
木板	C_j	6.6	7.4	26.9	17.0	9.9	
粘土瓦	S_A	2.7	4.0	45.7	28.9	16.8	
石板	T_c	2.9	3.7	42.9	15.8	27.1	
	T_j	2.5	6.8	44.9	15.1	29.8	
トタン	T_j	2.7	7.6	60.4	20.0	40.4	
	T_c	-	7.0	60.9	11.6	49.3	
セメント瓦	S_A	0.4	4.1	52.2	26.6	25.6	

T_{ac} : 屋根裏付近気温, T_{out} : 外気温, T_{sr} : 屋根裏表面温度

ることを示している。 T_c の薪燃焼による台所の過剰な室温上昇を除くと、相関は更に高くなる ($r=0.96$)。

4.3 日本や中国の伝統的住宅との内外温度差の比較

表6にネパールでの本実測と日本^{(1)~(11)}や中国⁽¹²⁾の夏季の既往の調査における内外温度差との比較を示す。本来であれば、効果が期待できる昼間の時間帯の値を比較するべきであるが、日本や中国の既往の文献には日平均や月平均値しか示されていない。このため、本実測の日平均値をこれらの文献の平均値と比較する。

表中の「データ数」の列はその地域における測定点数をあらわす。ネパール各地域の伝統的住宅における内外温度差 (室温-外気温) の日平均値の範囲を表の「平均値の範囲」の列に、それぞれの地域の全測定点で平均した値を表の「平均」の列に示す。測定点には台所の値も含めた。日本や中国の文献も本研究の整理方法に一致させて示す。表によると、ネパールの伝統的住宅における夏季の日平均内外温度差は、-0.3~2.3Kの範囲にある。

既往の調査と比較すると、内外温度差が本実測より小さいのは、1) 山形市土座民家と、11)~13) 中国窑洞である。1)は土座の、11)~13)は地温の効果によると推測される。これらを除くと、日本の夏季における内外温度差の範囲は0.2~2.1Kであり、本実測の-0.3~2.3Kの範囲とほぼ同じである。

冬季については、既報⁽¹⁾においてネパール (地域 T_c のみ) の実測値と既往調査における日本の内外温度差を比較したが、両者はほぼ同程度で1.5~3.0Kの範囲にあった。すなわち、内外温度差の日平均値でみれば、夏季冬季ともにネパールと日本の伝統的住宅の熱的性能にはあまり差がない。この結果は必ずしも建物の熱的な構造が同じであることを意味しない。今後シミュレーションなどにより検討する予定であるが、各地域の伝統的住宅の性能に差がないとすれば、伝統的住宅を考えるうえで注目する結果である。ただし昼間の時間帯に限定すれば、既述のようにネパールにおける本実測での内外温度差の

昼間の平均値は、最も効果のある場合で-4.6K (S_A の部屋, 表4参照)である。

冬季と夏季を比較する。既往研究のうち山形県土座民家と中国窑洞式住居を除いた9地域 (冬季は5地域), およびネパールの5地域 (冬季は1地域) における地域ごとの平均値 (表6では「平均」の列) を日本とネパールを合わせて冬季と夏季でそれぞれ平均すると、冬季は

表6 ネパールと日本・中国の伝統的住宅の内外温度差の比較

対象研究	住宅種類	住宅数	データ数	分析期間	外気温 [°C]	平均値の範囲	平均	SD	内外温度差 ($T_{in}-T_{out}$) [K]
a) 本研究 Banke (S_A)	土造・煉瓦造民家	10	13	2000.5.20	32.4	-1.3~3.8	-0.3	1.5	
b) 本研究 Bhaktapur (T_j)	煉瓦造町家	5	14	2000.5.24	22.4	0.6~2.0	1.2	0.5	
c) 本研究 Bhading (T_c)	石造民家	8	15	2000.4.22	20.1	-0.2~8.7	2.1	2.2	
d) 本研究 Kaski (T_j)	石造民家	7	15	2000.4.30	19.5	-0.2~3.4	1.6	1.0	
e) 本研究 Solukhumbu (C_j)	石造民家	6	16	2000.5.17	15.5	-0.2~4.6	2.3	1.2	
1) 山形県山形市 ⁽¹⁾	土座民家	1	5	1968.夏	24.1	-4.8~1.5	-2.3	1.4	
2) 山梨県敷島町 ⁽¹¹⁾	木造民家	1	2	1986.8	26.0	-0.4~1.4	0.5	1.3	
3) 山梨県一宮町 ⁽¹¹⁾	木造民家	1	2	1986.8	23.9	1.9~2.3	2.1	0.3	
4) 山梨県河口湖町 ⁽¹¹⁾	木造民家	1	2		21.3	1.0~1.8	1.4	0.6	
5) 山梨県山中湖村 ⁽¹¹⁾	木造民家	1	2	1986.8	20.6	1.0~1.3	1.2	0.2	
6) 岐阜県白川村 ⁽¹²⁾	合掌造り民家	1	11	1968.7	27.1	-0.7~0.9	0.2	0.6	
7) 岡山県北部 ⁽¹²⁾	農家	1	2	1966.7.24-25	24.7	0.2~1.0	0.6	0.6	
8) 高知県高知市 ⁽¹²⁾	木造民家	1	3	1969.8.24	29.8	0.9~1.6	1.2	0.4	
9) 鹿児島県大隅半島 ⁽¹²⁾	二棟造民家	2	5	1971.7.22, 31	27.6*	-0.1~3.0	1.8	1.1	
10) 鹿児島県奄美大島 ⁽¹²⁾	分棟式民家	2	4	1970.7.27	27.3	0.4~1.0	0.8	0.3	
11) 中国河南省洛陽市 ⁽¹²⁾	窑洞式住居	2	3	1986.7.27-28	29.3	-7.2~3.0	-3.4	5.6	
12) 中国河南省三门峡市 ⁽¹²⁾	窑洞式住居	3	5	1986.7.29-30	26.7	-2.7~3.0	-0.6	2.4	
13) 中国甘肅省蘭州市 ⁽¹²⁾	窑洞式住居	2	3	1986.8.4-5	22.1	-1.7~-1.1	-1.5	0.3	

SD: Standard deviation, *: 22日と31日の平均, ■: 平均値の変動, ○: 平均

2.2K¹⁾, 夏季は1.2Kである。冬季の方が1K大きいのは, 冬季は開口部を閉鎖して内外温度差を大きくするよう工夫し, 冬と夏で住宅の開閉状況を変えて温熱環境を調節した結果であると考えられる。

5. 結論

ネパールの5つの地域において夏季の住宅温熱環境の実測を行い, 室内外温熱環境と土間・壁・屋根などの表面温度を比較した結果, 以下のことが明らかになった。対象とした地域は亜熱帯のBanke(S_A), 温帯のBhaktapur(T_B), Dhading(T_C), Kaski(T_D)と冷帯のSolukhumbu 郡(C_L)である。

- 1) 居住者の滞在場所に関する調査から, 居住者が内部, 半外部, 前庭を時間的に移動して居住温熱環境を緩和している実態が示された。 S_A , T_C , T_D では日差しが強い昼間は風通しの良い半外部空間で過ごし, 夜間は低温と冷風を求めて S_A では前庭で, T_C , T_D では半外部で就寝する。
- 2) 各地域で昼間の平均室温は外気温より S_A で4.6K, T_B , T_D で0.7K, 0.8K低く, 亜熱帯で内外差が大きい。亜熱帯の開放的な土間の効果が示された。 T_B 密集市街地の日射が殆ど当たらない下部階では, 昼夜の室温は23°C付近で安定していた。開放型いりりて多量の薪を燃焼した S_A , T_C では, 台所の気温が最高41.9°C, 38.9°Cまで上昇していた。台所付近の過熱は処理する必要がある。
- 3) 開放的な半外部空間では気温温や風速が昼夜とも外部に近く, 昼間の作業や夜間の就寝に利用されていた。
- 4) 土間床や壁からの放射冷却効果がみられた。日平均表面温度は, 室温より土間では S_A で2.4K, T_B , T_D で3.6K, 1.4K低く, 壁では T_C , T_D で2.8K, 0.2K, C_L で0.8K低かった。 S_A の壺と T_B の煉瓦壁の表面温度は昼間で室温より最大で0.8K, 0.9K低かった。
- 5) 伝統的住宅と新型住宅を比較すると, 昼間の表面温度は伝統的住宅のほうが S_{A1} の土間で1.6K, T_{D1} の壁で1.0K低い。伝統的住宅の原理を応用して室温を下げるために, 新型住宅の S_{A1} では上部に開口部を設置し, T_{D1} では開口部を気密化すべきであろう。
- 6) 室内の絶対湿度の日較差が外部より1.8(T_B)~4.1g/kg'(C_L)小さく, 土間, 土壁造, 煉瓦造, 石造の調湿作用が示された。
- 7) S_A の煉瓦張り, T_C , T_D の草葺き, C_L の木板葺きの屋根裏表面温度の日較差は3.4~9.9Kと小さく, 断熱性能が高い。一方, 伝統的な建材の S_A の草葺き, 粘土瓦葺き, T_C , T_D の石板葺きや, 工業建材の S_A のセメント瓦葺き, T_B , T_C のトタン葺きでは, 屋根裏表面温度は最高42.9~60.9°Cまで上昇がみられ, 日較差も16.8~49.3Kと大きく, 断熱性能が低く, 室温上昇への影響が示された。
- 8) 屋根裏表面温度は, 外気温より昼間の草葺き, 煉瓦張り, 石板葺き(T_B), 粘土瓦葺きとセメント瓦葺きでは最大0.7~4.4K低く, 夜間の石板葺き(T_C)とトタン葺きでは最大1.3Kと5.4K低く, 屋根の放射冷却の効果が示された。
- 9) 日平均内外温度差は海拔の低い地域(S_A , 150m)では小さく(-0.3K), 海拔の高い地域(C_L , 2600m)では大きい(2.3K)。低地では開放系住居, 高地では閉鎖系住居であることが示された。
- 10) 日本の伝統的住宅における夏季の室内外温度差は, 内外温度差の日平均値を各地域で平均した値でみた場合, ネパールにおける実測結果の-0.3~2.3Kの範囲内にある。冬季も日本とネパールでほぼ同じ範囲にあったことから, 内外温度差の日平均でみれば日

本とネパールの伝統的住宅の熱的性能にあまり差はないといえる。

- 11) ネパールと日本の伝統的住宅における内外温度差は夏季(1.2K)は冬季(2.2K)より1K小さい。夏季に開放的, 冬季に閉鎖的という生活習慣に関連があると考えられる。

謝辞

図面の実測に芝浦工業大学・畑研究室の方々多大なご協力を頂いた。また本研究は, 平成13年度笹川科学研究助成を受けた。記して謝意を表す。

本論文に関する既発表論文

- a) H.B. リジャール, 吉田治典, 梅宮典子: ネパールの伝統的住宅における夏季の温熱環境調査と評価, 日本建築学会近畿支部研究報告集(環境系), 第41号, pp. 277-280, 2001.6.
- b) H.B. リジャール, 吉田治典, 梅宮典子: ネパールの伝統的住宅における夏季の温熱環境の地域差, 日本建築学会大会学術講演梗概集, D-1, pp. 1061-1062, 2001.9.

注

- 注1) 各地域の伝統的住宅は周辺から得られる自然の建材を利用し, その地域の伝統的構法を活かして村人自身が建て, 各地域の伝統文化が反映される。また, 田畑や家畜による自給自足の生活であるため, 工業建材の購入が困難で, 新しい構法が導入されることも殆どない。同一地域には類似した住宅が広範囲に建つことには, こうした理由があると思われる。
- 注2) Deheri(巨大壺)は粉穀, 土(1:1.5の割合)と水の混合穀物の粘土で作った穀物を保存する巨大壺である。色々なサイズの壺を適切に配置して, 台所, 寝室, 祈り部屋などを作る。
- 注3) 土壁は厚さ約15cmであり, 木の格子で骨組みを作り, 土, 牛や水牛糞, 粉穀(2:1:0.5の割合)と水の混合物で作ったモルタルを内外から塗って仕上げる。土壁は雨には弱く, 毎年乾季に作り直す。
- 注4) 石造壁は厚さ約50cmであり, 厚さ約20cmの石を厚さ約5cmの粘土で接合して, 内外から粘土を塗って仕上げる。

参考文献

- 1) リジャール ホーム パハドゥル, 吉田治典, 梅宮典子: ネパール山岳地帯の伝統的住宅における冬季の温熱環境調査, 日本建築学会計画系論文集, 第546号, pp. 37-44, 2001.8.
- 2) Ram Kumar Pandey: Development Disorders in the Himalayan Heights Challenges and Strategies for Environment and Development Altitude Geography, Ratna Pustak Bhandar, Baghbaz, Kathmandu Nepal, pp. 53, 290, 1995.
- 3) H.M.G. of Nepal: Climatological Records of Nepal 1987-1990, 1991-1994, 1995-1996, Ministry of Science and Technology Department of Hydrology and Meteorology, Kathmandu, 1995.6, 1997.5, 1999.6.
- 4) 曹香伊, 梶原圭介, 小畑互平, 畑聡一, H.B. リジャール: 南西部タライ平原に居住するタラー族の事例 ネパールにおける伝統的住居の空間構成に関する研究その3, 日本建築学会大会学術講演梗概集, E-2, pp. 491-492, 2001.9.
- 5) 小畑互平, 梶原圭介, 曹香伊, 畑聡一, H.B. リジャール: カトマンズ盆地バクタブルに居住するネパール族の事例 ネパールにおける伝統的住居の空間構成に関する研究 その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, E-2, pp. 489-490, 2001.9.
- 6) 芝浦工業大学・畑研究室, H.B. リジャール, 栗原宏光: 特集 ネパールヒンドゥー教が山中に描く集落世界, 住宅建築, pp. 30-73, 1997.3.
- 7) 佐々木高明(共著): 住まいの原型I, 鹿島出版会, pp. 277-289, 1971.10.
- 8) 原広司編: インド・ネパールの集落の構造論的考察, SD別冊10号, pp. 136-137, 1978.
- 9) 梶原圭介, 小畑互平, 曹香伊, 畑聡一, H.B. リジャール: 北部山岳地に居住するセエルパ族の事例 ネパールにおける伝統的住居の空間構成に関する研究 その1, 日本建築学会大会学術講演梗概集, E-2, pp. 487-488, 2001.9.
- 10) 市川啓子, 金子幸子, 梁瀬度子, 花岡利昌: 民家の微気候学的研究 第5報 山形県の土座民家の室内気候について, 家政学研究, Vol.17 No.1, pp. 91-96, 1970.6.
- 11) 宮野則彦, 浅見雅子, 宮野秋彦: 寝室及び便所の温湿度変化から見た居住環境の考察 山梨県下の伝統的木造民家を対象として, 日生氣誌, 27(2), pp. 57-70, 1990.
- 12) 梁瀬度子, 今村史子, 市川啓子, 花岡利昌: 民家の微気候学的研究 第4報 岐阜県白川村合掌造り民家の室内気候について, 家政学研究, Vol.16 No.1.2, pp. 64-73, 1969.12.
- 13) 高須謙一: 農家の夏季気候の1観測例, ハウスクリマ研究ノート, 京都府立大学, 第1号, pp. 32-33, 1969.9.
- 14) 赤松照子, 名城美耶子, 近藤百合子, 梁瀬度子, 花岡利昌: 民家の微気候学的研究 第11報 温暖地区(四国南岸)における鉄筋コンクリート造・ブロック造および木造住宅の夏季の居住気候の一観測, 家政学研究, Vol.19 No.2, pp. 129-138, 1972.12.
- 15) 忍山真砂子, 古山佳世, 市川啓子, 梁瀬度子, 花岡利昌: 鹿児島県大隅半島における二棟造民家の室内気候について, 家政学研究, Vol.20 No.2, pp. 161-171, 1973.12.
- 16) 森田幸子, 市川啓子, 梁瀬度子, 花岡利昌: 民家の微気候学的研究 第9報 鹿児島県奄美大島における分棟式民家の室内気候ならびにコンクリート住宅のそれとの比較について, 家政学研究, Vol.19 No.1, pp. 36-45, 1972.6.
- 17) 稲葉一八, 宮野秋彦: 中国黄河流域窑洞式住居の内部環境に関する調査 第5報 夏季の窑洞内温熱環境, 日本建築学会東海支部研究報告, pp. 245-248, 1987.2.

(2001年10月10日原稿受理, 2002年4月16日採用決定)