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

INVESTIGATION OF WINTER THERMAL ENVIRONMENT IN TRADITIONAL VERNACULAR HOUSES IN A MOUNTAIN AREA 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 thermal environment in traditional vernacular houses of Nepal, the winter thermal indoor environment was measured and investigated regarding 1) the relation between indoor and outdoor climate, 2) thermal environmental indices and 3) comparison with existing studies.

1) The thermal environment of investigated houses in ground floors / middle floor are as followings, a) indoor air temp. was 2.5K (daytime), 4.7K (nighttime) higher than outdoor air temp., b) specific humidity was 0.9g/kg' (daytime), 1.2g/kg' (nighttime) higher than outdoor specific humidity, c) vertical air temp. difference was 3.7K (daytime) greater than the ASHRAE ST-55 thermal comfort standard, that is 3K, while attic rooms are similar to outdoor. The results showed that the thermal environment are better in ground floors / middle floor than in attic rooms. 2) The mean PMV was -1.2 which was lower than the ISO 7730 standard, that is ± 0.5 and the mean SET* was 20.0°C which was lower than the ASHRAE ST-55, that is 22.2 ~ 25.6°C. It was clarified that residents live in lower thermal environment than standards. 3) Compared with Japanese houses in existing studies, Nepalese houses were similar in indoor and outdoor temp. differences, while they were less in vertical temp. differences.

*Keywords: Nepal, Traditional vernacular houses, Indoor and outdoor temp. difference,
Vertical temp. difference, Thermal environment, Evaluation*

ネパール、伝統的住宅、内外温度差、上下温度差、温熱環境、評価

1. はじめに

ネパール山岳地帯の伝統的住宅^{注1)}は多くの国の伝統的な住宅と同様に、内外環境を適切に保ち、環境負荷の少ない環境共生的な建築形態を経験的に発展させてきた。例えば、1) 冬季の温熱環境に重点をおいた厚い石造壁の閉鎖的な内部空間、2) 夏季に快適な温熱環境を得るための木造の開放的な半外部空間、3) 温熱環境を緩和する外部緩衝空間、4) 風向きを考慮した窓や住棟配置、5) 日射を考慮した軒の出や屋根形式、6) 石、土、草、木などの天然建材を活かした住宅構法、などがその特徴としてあげられる。

しかしながら、住宅の内部空間は、特に冬季において、窓ガラスや閉鎖用の戸もなく、半外部空間に似た開放的空間が多いため、なお解決すべき問題も多い。例えば、1) 冬季には室内は寒冷で、高齢者の死亡率が高いといわれている。2) 大量の薪^{注2)}を燃やしているが、隙間の多い開放的空間で快適な温熱環境が得られず、暖房の効率も空間的温度分布も悪い。また、薪による煙の処理と気密性の兼ね合いが難しい。3) 土間に素足で生活するため、低温な床表面温が不快と思われる。4) また、最近の技術や材料が安易に採用され、例えばトタン屋根^{注3)}のように、その急激な表面温度変化が室内環境を悪化させている。

従来、ネパールの伝統的住宅に関する研究は、建築計画学や文化

人類学的観点から行われてきた。それらはネパール各地の伝統的集落における空間構成、構法、住み方を分析した研究^{1)~4)}、カトマンズ盆地の伝統的住宅、寺院、王宮、広場、中庭、仏教建築の空間構成を分析した研究⁵⁾、⁶⁾などに限られ、環境工学的視点からの研究は皆無で温熱環境の実態は明らかではない。また、ネパール山岳地帯では普通、直火の炉が使用されているが、日本の伝統的住宅の研究は、建築構成要素と室内温熱環境の関係を明らかにしながら、開放型ストーブ、電気こたつ、石油ストーブ、扇風機、煙突薪ストーブ、ルームクーラーのような暖冷房設備に関連付けた研究が多く^{7)~9)}、薪燃焼に関連付けた研究は、アイヌ伝統住居チセを復元して室内環境を分析した研究¹⁰⁾、¹¹⁾がある程度で数が少ない。しかしながら昨今、ネパールにおいても冬季の暖房や調理のためのエネルギー使用の増大に伴う、森林の枯渇、直火の使用による室内空気汚染の改善など、環境やエネルギー問題が徐々に顕在化しており、煙突付炉の推奨、森林伐採の抑制、植林などの環境改善政策が行われ始めていることから、伝統的住宅の環境をネパールの社会に即した形で、いかにして適切に改善してゆくかという視点の研究が不可欠である。

本論文では、ネパールの代表的な山岳地帯の伝統的住宅を取り上げ、冬季の温熱環境を実測し、1) 住宅における内外温湿度差、上下

* 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建築学専攻 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 Architecture and Building Eng., Osaka City University, Dr. Eng.

図1 調査対象地域の地形と気候の位置付け

温度差など、その熱的特性を定量的に把握し、2) PMV、SET*などの温熱環境指標によりその温熱環境を評価し、3) 日本の伝統的住宅と比較し、4) 改善案を示した結果を報告する。

2. 対象地域の概要

ネパールは東経 $80^{\circ} 4' \sim 88^{\circ} 12'$ 、北緯 $26^{\circ} 22' \sim 30^{\circ} 27'$ に位置し、国土面積は $147,181 \text{ km}^2$ 、東西の長さは約 800 km 、南北の幅は約 160 km と東西に細長く南北に短い国である¹²⁾。南北の標高差が非常に大きく、この差により様々な内陸気候が形成されている。つまり、南部の平地帯は亜熱帯気候、中部の山岳地帯は温帯気候、北部のヒマラヤ地帯は冷帯気候、高山性気候、北極性気候に分類できる(図1)。人々は海拔約 $50 \text{ m} \sim 5769 \text{ m}$ までの広範囲に住んでおり、地域によって様々な伝統的住宅がみられる¹³⁾。本論文の調査対象地域は中央ネパールの海拔約 1500 m の Dhading 郡 Jyamrung 区 Salle 村である(図1、写真1)。Salle 村の選定理由は、ネパール山岳地帯の典型的な村であること¹⁴⁾、1996年に集落調査が行われ、建築計画的な特徴が判っていることにある³⁾。郡内の気象台で1994年に観測された月別平均気温の最低は1月で 12.9°C 、最高は7月で 26.1°C 、月別平均相対湿度の最低は1月で 73% 、最高は8月で 86% である¹⁴⁾。

3. 調査対象住宅の概要^{3), 4)}

3.1 空間構成

この地域の住宅構造は2、3階建ての草葺き住宅、石板葺き住宅が一般的であるが、ここ20年は施工性と耐久性の観点からトタン葺き住宅も建てられつつある。調査対象住宅として典型的なa) 石板葺き住宅、b) 草葺き住宅、c) トタン葺き住宅の3軒を選んだ(図2)。これらは南斜面に建っており、母屋、前庭、畜舎兼住居、畜舎、糞置き場からなっている。この村では、南斜面の場合は谷側を住宅の正面に、北斜面の場合は西や東を正面にする場合が多い。住宅の空間は、内部空間、半外部空間、外部空間の3つに分類できる。内部空間とは石造の壁で囲まれた空間をいう。閉鎖的な内部空間は暖かく、冬季を過ごすのに適している。室内には間仕切がないが、1階は宗教的理由から 10 cm 程度の段差が設けられ下座と上座に分かれている。天井高が低く(約 1.6 m)、上下階を繋ぐ階段部分は吹抜になっている。半外部空間は内部空間の外側で、石造壁体に接した木造で開放的な外部空間をいう。1階はピロティ的で、平面的にはL字型に配置されることが多い。半外部空間の1階を「軒下」、2階を「バルコニー」と呼ぶことにする。軒下には縁台、踏台、石臼、木槌、鶏小屋等が置かれており、日常作業、日光浴、日陰での休憩、来客の出迎え、夏季の就寝などに利用される。バルコニーの両端にはベッド付きの部屋(以下バルコニー部屋と呼ぶ)が設けられる場合が多い。バルコ

写真1 Salle 村の全体像
山のほぼ頂上にある南斜面の段々畑に建つ、左から草葺き住宅、トタン葺き住宅と石板葺き住宅である。

図2 調査対象住宅の配置

図3 調査対象住宅の平面図と断面図

☆: 温湿度測定点 □: 半外部空間
★: 温度測定点 単位: mm

表1 調査対象住宅の概要

検討項目	a)石板葺き住宅	b)草葺き住宅	c)トタン葺き住宅
階数	3	2	2
壁体構造	石造	石造	石造
屋根	切妻、石板葺き	切妻、草葺き	切妻、トタン葺き
延年	15	3	4
内部延床面積 [m ²]	57.1	27.4	31.2
半外部延床面積 [m ²]	48.8	28.0	11.7
世帯人数	9	7	2*

*:石板葺き住宅の畜舎兼住居であり、8人の内2人が就寝する

表2 調査対象住宅の開口部の種類、総面積と個数

開口部種類	開口部総面積[m ²]×個数					
	a)石板葺き住宅		b)草葺き住宅		c)トタン葺き住宅	
	1階	2階	3階	1階	2階	2階
ドア	1.1×1	1.1×1	-	1.1×1	1.1×1	1.1×1
透かし彫り窓	0.4×1	-	0.4×2	0.4×1	0.4×1	0.4×4
戸付き窓	-	0.4×1	0.4×2	-	-	-
開放窓	-	-	0.3×2	-	0.2×2	0.4×1
階段吹き抜け	1.7×1	1.7×1	-	1.3×1	-	-
合計	3.2	3.2	2.2	2.8	1.9	3.1

-:なし

表3 使用測定機器の一覧

測定項目	測定機器
日射量	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型極細熱伝導 直径0.08mm *
外気湿度	携帯型湿度計 TR-72 (T&D)
室内温湿度	携帯型湿度計 TR-71 (T&D)
グローブ温度	グローブ温度計 TR-72 (T&D)

*:データロガー (THERMIC 2100a 江崎電気)

ニーの手摺りは透かし彫りでデザインされており、洗濯物を干したり、野菜や果物を乾燥させるのに用いられる。開放的な半外部空間は涼しく、夏季を過ごすのに適している。外部空間は前庭であり、母屋、畜舎兼住居、畜舎などを相互に繋ぐ役割を持っており、日常作業、穀物の乾燥、日光浴、祭礼や宗教儀式などに利用される。

3.2 構法

全ての住宅の壁は厚さ約50cmの石造であり、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。接地階の床は厚さ約50cmの粘土を固めて造る。天井は大梁、小梁を組み、その上に長さ約50cm厚さ約5cmの木材を隙間なく敷き詰め、更にその上に厚さ約20cmの粘土で固めて造る。窓枠は木製で、ガラスは使用されていない。窓には、透かし彫り窓(窓枠に縦長の棒や幾何学的模様を格子状に入れた戸のない窓)、戸付き窓(開閉戸が付いている窓)、開放窓(全面が開放された窓)がある。窓は南面に多く、最上階を除き、北面と東西面には窓がない。屋根は、木造小屋組みの上に石板、草、トタンで葺かれている。

3.3 住宅の種類(表1、表2)

3.3.1 石板葺き住宅(図3(a))

3階建ての石板葺き住宅は、東と南にL字型の半外部空間を有する。1階は台所兼居間兼寝室、2階は寝室兼倉庫、3階は倉庫として利用されている。1階と2階の南にドア(各1)、1階の南に透かし彫り窓×1、2階の南に戸付き窓×1、3階の南に透かし彫り窓×2、戸付き窓×1、東に戸付き窓×1、小屋組み内の東西に開放窓(各1)が設けられている。バルコニー部屋の東と南面の壁は木板張り、北と西面は石造である。木板張り壁には透かし彫り窓とドアがあり、木板床と木板張り壁には多くの隙間がある。1階と2階は開口部が少ない気密性の高い閉鎖的な空間であるが、3階と半外部空間は開口部や隙間が多く、気密性の低い開放的な空間となっている。屋根は、木造小屋組みの上に約20cm×20cm×1cmの石板で葺かれ、釘で固定してある。石板葺き屋根には土、木版の断熱性の材料を使用しておらず、屋根、屋根と石造壁の間には隙間があいている。

3.3.2 草葺き住宅(図3(b))

2階建ての草葺き住宅は、西と南にL字型の半外部空間を有する。1階は台所兼居間兼寝室、2階は倉庫兼寝室、バルコニーは寝室として利用される。1階と2階の南側に透かし彫り窓とドア(各1)、2階の小屋組み内の東西に開放窓(各1)があり、1階は開口部の少ない閉鎖的な、二階は開口部の多い開放的な空間である。屋根は木造小屋組みに長さ約80cmの細長い草を厚さ約50cmにヒモで結んで葺く。草葺き屋根は通常3～4年ごとに葺きかえられる。

3.3.3 トタン葺き住宅(図3(c))

トタン葺き住宅は2階建てで、1階は水牛と山羊小屋、2階は寝室で、石板葺き住宅の畜舎兼住居となっている。1階は南に壁がなく、可動式の壁(葉付きの枝で作った軽い壁)によって昼夜で日射、冷氣、通風などを調整する。2階の南にドア×1、透かし彫り窓×2、西と北に透かし彫り窓(各1)、小屋組み内の西に開放窓×1が設けら

れ、開口部の多い開放的な空間である。屋根は木造小屋組みに約1m×2mの塗装していないトタンを葺く。トタン屋根に土、木版の断熱性材料は使用されず、屋根と石造壁の間に隙間があいている。

3.4 居住者の生活習慣

冬季の一日の主な生活パターンや空間利用はおおよそ、6～8時頃に内部空間で薪燃焼による採暖、8～12時頃に前庭で日光浴、12～17時頃に半外部空間で日光浴や日陰で休憩、17～21時頃に内部空間で採暖、夜に内部やバルコニー部屋で就寝、のようになっている。朝食は6～9時頃、昼食は14～15時頃、夕食は18～20時頃、家畜の餌は20～21時頃に調理する。調理と採暖の時間帯が重なることで、ある程度薪が節約されている。1999年12月の平均薪消費量は石板葺き住宅で11.4kg、草葺き住宅で8.5kgであった。薪は近くの山から採取され、1～2ヶ月乾燥された松などの木材である。土間の表面温度は低いが、一般的に宗教的な理由で住居内では裸足で過ごす。戸付き窓は昼間は開け夜間は閉め、透かし彫り窓や開放窓は藁マットで塞ぐことが多い。村人は日々忙しく、大人は畑仕事、家畜の草刈、家畜の放牧に出かけ、子供は学校に行き、幼い子供や老人は留守番することが多い。

4. 測定概要

4.1 測定日時

調査期間は1998/12/19～21で、天候は冬季として代表的で、19日と20日は晴天、21日は晴れ時々曇りであった。なお、外気温湿度、風向風速、日射量の測定は、19日の12:00～20日の16:00に行った。

4.2 測定項目および方法

温熱環境の測定は、表3に示す機器を用いて、外部環境(温湿度、日射量、風向風速)と内部環境(温湿度、グローブ温度)を、図3と表4に示す位置で行った。日射量と風向風速は、石板葺き住宅から南へ約25m離れた障害物のない地上1.5mで測定した。外気温湿度は石板葺き住宅の前庭の地上1.5mで、日射の影響を避けて測定した。半外部空間と内部空間の温湿度は、各室のほぼ中央の床上0.1m(以下、床付近と呼ぶ)、中央部、天井下0.1m(以下、天井付近と呼ぶ)、屋根裏下0.1m(以下、屋根裏付近と呼ぶ)で測定した。グローブ温度は、石板葺き住宅の1階床上0.8mで測定した。測定値は全て5分間隔でデータロガーに記録した。

4.3 測定データの校正と処理

機種による測定誤差を除くために、風向計を除く全ての測定機器は、人工気候室内で調査前後に校正した。また、風向を除く全ての測定データは、変動の緩やかなデータを得るために、ローパスフィルターで処理した。

5. 結果と分析

表4に、晴天日である19(12:00)～20日(12:00)の外部、接地階/中間階と屋根裏の温湿度測定結果を示す。昼間とは6:00～18:00を、夜間とは18:00～翌朝6:00を指す。

表4 石板葺き、草葺きとトタン葺き住宅の接地階/中間階と屋根裏の温湿度、内外温湿度差と上下温度差

空間名	住宅名	測定位置	平均気温 [°C、K]						平均相対湿度 [%]						平均絶対湿度 [g/kg]						平均上下温度差 [K]		
			外気温 Tout			内外温度差 (Tin-Tout) [K]			外気相対湿度 Dout			内外相対湿度差 (Din-Dout)			外気絶対湿度 Xout			内外絶対湿度差 (Xin-Xout)			天井付近気温 (Tc)と床付近気温 (Tf)の差 (Tc-Tf)		
			室温 Tin [°C]						室内相対湿度 Din						室内絶対湿度 Xin								
			全日	昼間	夜間	全日	昼間	夜間	全日	昼間	夜間	全日	昼間	夜間	全日	昼間	夜間	全日	昼間	夜間	全日	昼間	夜間
外部 (Tout, Dout, Xout)		G.L. +1.5m	14.0	15.1	12.8				54	54	53				6.4	6.9	5.8						
接地階/中間階	a) 石板葺き住宅 (石)	1FL +0.8m	16.9	17.0	16.8	+2.9	+1.9	+3.9	50	53	46	-4	-1	-6	7.1	7.6	6.5	+0.8	+0.7	+0.8	+2.7*	+3.2*	+2.2*
		2FL +0.8m	16.4	16.5	16.2	+2.4	+1.4	+3.4	53	56	50	+1	+2	-3	7.3	7.7	6.8	+0.9	+0.8	+1.0	+3.8**	+4.2**	+3.4**
	b) 草葺き住宅 (草)	1FL +1.4m	19.6	19.3	19.8	+5.6	+4.2	+6.9	48	50	45	-6	-4	-7	7.9	8.2	7.6	+1.6	+1.3	+1.9			
建物間平均			17.6	17.6	17.6	+3.6	+2.5	+4.7	50	53	47	-3	-1	-5	7.4	7.8	7.0	+1.1	+0.9	+1.2	+3.3	+3.7	+2.8
屋根裏	a) 石板葺き住宅 (石)	2BFL +0.5m	14.5	16.0	13.0	+0.6	+0.9	+0.2	52	51	53	-2	-3	±0	6.4	6.9	5.8	+0.1	±0	+0.1	+1.1	+2.6	-0.4
		3FL +0.9m	13.8	15.0	12.5	-0.2	-0.1	-0.3	54	55	53	+1	+1	±0	6.3	7.0	5.6	-0.1	+0.1	-0.2	+0.1	+0.7	-0.6
	b) 草葺き住宅 (草)	2FL +1.1m	13.7	14.5	12.8	-0.4	-0.6	-0.1	56	57	54	+2	+3	+1	6.5	7.0	5.9	+0.1	±0	+0.1	+0.6	+0.7	+0.5
	c) トタン葺き住宅 (ト)	2FL +1.8m	13.4	15.2	11.6	-0.7	+0.1	-1.2	55	54	56	+2	±0	+4	6.4	7.0	5.7	±0	+0.1	-0.1	+1.4	+4.0	-1.2
建物間平均			13.9	15.2	12.5	-0.2	+0.1	-0.4	54	54	54	+1	±0	+1	6.4	7.0	5.8	±0	+0.1	±0	+0.8	+2.0	-0.4

昼間: 6:00~18:00, 夜間: 18:00~6:00, G.L.: 地面レベル, FL: 階レベル, BFL: バルコニー階レベル (2階の半外部空間), *: 炉付近, **: 入り口付近 (1F)

5.1 外部環境と住宅計画の関係

正面である南側に前庭、東と南側に半外部空間を設け、南側の多くの開口部を開放し、東西や北側を石造壁で閉鎖することで、昼間の日射を確保して、昼間の温風を建物に導入し、夜間は冷風を避けるといった、温熱環境の工夫がみられる。冬季は快晴日が多く、分析対象日の最大日射量は595 W/m²であることから、昼間、居住者は日当たりの良い前庭や軒下で生活していた。また、風向風速は昼間平均で南風 (谷風) 1.3m/s、夜間平均で北風 (山風) 0.8m/sであり、昼間は暖められた温風が谷風で室内に運ばれて室内が暖められるように、夜間は風速が弱く建物の背面 (北側) に窓がないため夜間の北風が建物の中に入って熱を奪うのを抑えるように計画されているといえる。

5.2 接地階/中間階と屋根裏の温熱環境比較

室内温熱環境分析は各建物の接地階/中間階、屋根裏の内外温湿度差と上下温度差で比較する。これは、両者の接地階/中間階と屋根裏に空間ならびに生活習慣上の類似性があるためである。「接地階」とは石板葺き住宅 (石1F) と草葺き住宅の1階 (草1F) を、「中間階」とは石板葺き住宅2階 (石2F)、「屋根裏」とは石板葺き住宅のバルコニー部屋 (石2B) と3階 (石3F)、草葺き住宅とトタン葺き住宅の2階 (草2F と ト2F) を指す。

図4に接地階/中間階の、図5に屋根裏の温熱環境をまとめて示す。凡例は各図の下に示した。図4(a)、図5(a)に室温(Tin)と外気温(Tout)の時刻変化を示す。

分析期間中の日平均気温 (日平均相対湿度) は、外気が14.0°C (54%RH)、接地階/中間階は建物間で16.4°C (48%RH)~19.6°C (53%RH)、屋根裏は13.4°C (52%RH)~14.5°C (56%RH)であった。接地階の日平均グローブ温度が19.1°Cであり、室温より+2.2K高いのは、薪燃焼の影響と思われる。

5.2.1 内外温度差

図4(b)、図5(b)に室温(Tin)と外気温(Tout)の内外温度差(Tin-Tout)の時刻変化を示す。平均値は表4に示す。また、図4(c)、図5(c)には同一時間帯の室温と外気温の相関を示す。

接地階/中間階の内外温度差 (内-外) は、建物間平均で昼間平均+2.5K、夜間平均+4.7Kで、夜間の方が大きく、昼夜とも内部が外部より高い。これは、1) 昼間にドアと窓を開放して通風し、夜間にはドアと窓を閉めて冷気侵入を避けていること、2) 朝晩の寒い時間帯に薪を燃やしていること、3) 開口部 (ドアと窓) が少ない閉鎖的な空間であること、4) 熱容量の大きい石造壁による蓄熱効果などが考えられる。石板葺き住宅の中間階が接地階と似た室温になっている

のは、接地階と同数の開口部があり、階段吹抜により接地階と一体化した空間になっているためと思われる。

屋根裏の内外温度差 (内-外) は、建物間平均で昼間平均+0.1K、夜間平均-0.4Kで夜間は外部より低い。昼間に外部より低いのは、石板葺き3階 (-0.1K) と草葺き住宅 (-0.6K)、夜間に外部より低いのは石葺き3階 (-0.3K)、草葺き住宅 (-0.1K) とトタン葺き住宅 (-1.2K) であった。接地階/中間階の内外温度の相関係数は0.22~0.84であることに比べて、屋根裏の相関係数0.89~0.98の方がかなり高く、屋根裏の方が外気温の瞬時的な影響が大きい (図4(c)、図5(c))。屋根裏が昼夜とも外部に近い室温になっているのは、1) 窓が一日中開放されていること、2) 開口部が多い開放的な空間であること (石板葺き住宅3階では6つの窓と階段吹抜、草葺き住宅では3つの窓・ドア・階段吹抜、トタン葺き住宅では5つの窓・ドアがある)、3) 屋根が断熱されておらず多くの隙間があること、4) バルコニー部屋の板張り壁に多くの隙間があることなどが理由と考えられる。

以上をまとめると、接地階/中間階の内外温度差は屋根裏より昼間2.4K、夜間5.1K大きい。これは接地階では薪燃焼による採暖や開口部開閉などの生活習慣、外気侵入を防止する閉鎖的空間といった内外温度差を高める工夫がなされているが、屋根裏では生活時間が短いことから、開口部開閉の生活習慣がなく、外気変動に左右される開放的空間になっているためと考えられる。

5.2.2 内外絶対湿度差

図4(d)、図5(d)に室内絶対湿度(Xin)と外気絶対湿度(Xout)の内外絶対湿度差(Xin-Xout)の時刻変化を示す。平均値は表4に示す。また、図4(e)、図5(e)には同一時間帯の室内絶対湿度と外気絶対湿度の相関を示す。

接地階/中間階の平均内外絶対湿度差 (内-外) は、建物間平均で昼間平均+0.9g/kg'、夜間平均+1.2g/kg'で、夜間の方が大きい。昼夜とも内部が外部より高いのは、炊事による水蒸気発生、土間、土壁からの水蒸気放出などの影響と考えられる。

屋根裏の内外絶対湿度差 (内-外) は、建物間平均で昼間平均+0.1g/kg'、夜間平均±0.0g/kg'で昼間に外部より湿度が高いがそのオーダーが小さく、昼夜とも建物によって異なるが、その差異は顕著ではない。これは、開口部や隙間に多大な漏気があるためと考えられる。接地階/中間階の内外絶対湿度の相関係数0.82~0.99よりも屋根裏の相関係数0.98~0.99の方が僅かに高く、屋根裏の方が多少空気の出入りが多いことが推察される (図4(e)、図5(e))。なお、日平均内外相対湿度差(Din-Dout)は、接地階/中間階では-3%RHで外部より内部の方が低いのにに対して、屋根裏では内部が+1%RHで外部より

図4 接地階/中間階の温熱環境

図5 屋根裏の温熱環境

図7 屋根裏の上下温度差

図8 トタン葺き住宅の温度

図9 トタン葺き住宅の室温と等価外気温の相関

図10 石板葺き住宅接地階のPMV

高いが差は僅かであり、内外差はないといえる。

以上をまとめると、接地階/中間階の内外絶対湿度差は、内外温度差と同様に屋根裏より大きく、屋根裏より昼間で 0.8g/kg 、夜間で 1.2g/kg 大きい。これは、接地階では炊事や生活者からの水蒸気発生があり、屋根裏では開口部や隙間から外気の継続的な流入があるためと考えられる。

5.2.3 上下温度差

図6に石板葺き住宅の接地階、図7に屋根裏の天井付近気温(T_c)と床付近気温(T_f)の上下温度差(T_c-T_f)の時刻変化を示す。平均値は表4に示す。

石板葺き住宅の接地階の平均上下温度差(上-下)は、昼間平均+3.7Kより夜間平均+2.8Kのほうが小さい。昼間に炉で薪を燃焼させ炊事や採暖が行われ、発生熱が天井付近に溜るためと考えられる。

屋根裏の平均上下温度差は、建物間平均で昼間平均+2.0K、夜間平均-0.4Kで、夜間の方が小さい。草葺き屋根は断熱性が高いため昼夜とも殆ど差がなく、日平均上下温度差は0.6Kであった。しかし、トタン葺き屋根の平均上下温度差は昼間で+4.0K、夜間で-1.2Kである。これは石板葺き住宅3階より昼間で3.3K大きく、夜間で0.6K小さい。接地階炉付近の昼間平均+3.2K、入り口付近の昼間平均+4.2Kと夜間平均+3.4K、トタン葺き住宅の屋根裏の昼間平均+4.0Kは、ASHRAE ST-55の推奨値である3Kより高くなっている¹⁵⁾。接地階の入口付近は開放的、炉付近は閉鎖的な空間であることから、入口付近の上下温度差は、昼夜とも炉付近の上下温度差より大きい。

以上をまとめると、接地階の上下温度差は、内外温湿度差と同様に屋根裏より大きく、屋根裏より昼間1.7K、夜間3.2K大きい。これは接地階では開放型炉で薪燃焼による内部発熱があり、平面や断面の狭い部屋で部分的に閉鎖的になっているのに対して、屋根裏では内部発熱がなく、開放的空間になっているためと考えられる。接地階の上下温度差が推奨値より大きいことは、不快な温熱環境と薪で発生する熱の浪費の可能性を示している。

5.3 屋根材の室温への影響

トタン葺き屋根の熱性状を把握するために、日射や放射の効果を加味し、定常熱バランス式に基づいて等価外気温と表面温度を算出した。計算条件は、トタン屋根の日射吸収率と放射率を0.65と0.30とし、屋根外側の熱伝達抵抗を $0.05\text{m}^2\text{h}^\circ\text{C/kcal}$ とした。

図8にトタン屋根の屋根裏付近気温、表面温度、等価外気温の時刻変化、図9に等価外気温と室温の相関を示す。

トタン葺き屋根は日射の影響で昼間の室温が外気温より高く、夜間放射冷却の影響で夜間は外気温より低い。気温は、昼間は屋根裏付近ほど高く、夜間は屋根裏付近ほど低い。すなわち、昼間の平均室温は、床付近 13.8°C 、中央部 15.2°C 、屋根裏付近 17.8°C であり、外気との差はそれぞれ-1.3K、+0.1K、+2.7Kであった。屋根裏付近の昼間の最高気温は 24.5°C であり、外気温より+6.2K高い。夜間平均室温は、床付近 12.4°C 、中央部 11.6°C 、屋根裏付近 11.2°C であり、外気温よりそれぞれ0.4K、1.2K、1.6K低い。屋根裏付近の夜間最低気温は 9.4°C であり、外気温より1.0K低い。これらの傾向は、等価外気温が最高 33.7°C 、表面温度が最高 36.9°C 、最低 8.2°C という計算結果とも一致している。床付近、中央部、屋根裏付近の室温と、等価外気温の相関係数は、それぞれ0.62、0.73、0.91となり、トタン屋根に近いほど相関が高いという結果となった。

石板葺き屋根は日射による温度上昇が殆どみられなかったが、夜間放射冷却による温度低下がみられた。石板葺き住宅3階の昼間平均室温は、屋根裏付近で 15.5°C であり、外気より0.4K高い。これはトタン葺き屋根より2.3K低い。屋根裏付近の夜間平均室温は 11.7°C であり、外気温より1.1K低い。これはトタン葺き屋根より0.5K高い。また、屋根裏付近の夜間最低気温は 9.6°C であり、外気温より0.8K低い。これはトタン葺き屋根より0.2K高い。

草葺き屋根は日射や夜間放射冷却による温度上昇や低下がなかった。草葺き住宅2階の昼間平均室温は、屋根裏付近で 15.1°C であり、外気温との差はないといえる。これはトタン葺き屋根より2.7K低く、石葺き屋根より0.4K低い。屋根裏付近の夜間平均室温は 13.4°C であり、外気温より0.6K高い。これはトタン葺き屋根より2.2K高く、石板葺き屋根より1.7K高い。また、屋根裏付近の夜間最低気温は 10.6°C であり、外気温より0.2K高い。これはトタン葺き屋根より1.2K高く、石板葺き屋根より1.0K高い。

以上をまとめると、草葺き屋根の屋根裏付近の平均気温は、石板葺き屋根より昼間で0.4K低く、夜間で1.7K高く、トタン葺き屋根より昼間で2.7K低く、夜間で2.2K高い。これは草葺き屋根は断熱性が高いため日射や放射冷却の影響がないが、トタン屋根は日射により表面温度が上昇し、トタン葺き屋根と石板葺き屋根は夜間放射冷却により表面温度が低下し、屋根裏付近の気温に影響を及ぼしているためと考えられる。

6. 温熱環境評価

石板葺き住宅の接地階におけるPMVとSET*を算出した¹⁶⁾。計算にあたっては、温湿度とグローブ温度は1時間平均値を用いた。居住者の平均的な体格や服装から体重55kg、クロ値0.8clo、代謝量1.2metを想定した。風速は室内気流が静粛なことから 0.1m/s と仮定した。

図10と図11に石板葺き住宅の接地階の測定値から求めたPMVとSET*の時刻変化を示す。

PMVの平均は、昼間で-1.1、夜間で-1.3であり、昼夜ともISO 7730の7段階PMVの推奨範囲 ± 0.5 未満より低く、「やや寒い」と「寒い」というカテゴリーの間に入る¹⁷⁾。また、SET*の平均は、昼間で 20.4°C 、夜間で 19.6°C であり、昼夜ともASHRAE ST-55の快適範囲 $22.2 \sim 25.6^\circ\text{C}$ より低い¹⁸⁾。昼間は日当たりの良い半外部や外部空間で生活しているが、夜間は半外部空間で子供が勉強したり、客とタバコを吸いながら過ごしたりすることもあり、接地階以外では、薪燃焼がないためPMV、SET*ともさらに低いと思われる。なお、実際の居住者がどの程度のPMVとSET*で快適と感じるかという主観申告調査は、別報にて明らかにする予定である。

7. 日本の伝統的住宅との比較

本実測の平均グローブ温度(19.1°C)は、アイヌ民族伝統的住居チセ¹¹⁾の炉端平均グローブ温度(29.2°C)より10.1K低い。しかし、採暖を停止している時のグローブ温度は外気温より5K程高く、本実測のグローブ温度の4.5K(21:00～翌朝5:00の平均)と類似性がある。

表5に本実測と1)北海道沙流郡平取町二風谷のアイヌ民族伝統住居¹¹⁾、2)～5)山梨県の敷島町、一宮町、河口湖町、山中湖村の木造民家¹⁸⁾、6)岐阜県白川村合掌造り民家¹⁸⁾、7)島根県出雲平野の屋敷防風林の木造民家²⁰⁾の内外温度差の比較を示す。本実測の外気温は表5に

表5 ネパールと日本の伝統的住宅の内外温度差(時間平均値)の比較

基準	対象研究	住宅種類	分析期間	外気温 [°C]	内外温度差(T _{in} -T _{out}) [K]		違い(本研究基準) [K]
					平均値の範囲	平均	
冬季	0)本研究(ネパール)	石造+木造	1988.12.19-20	14.0	-0.8(t2F)~+5.8(草1F)	+1.5	最小値と最大値と平均値と
	1)北海道砂渡郡 ¹⁾	アイヌ伝統住居	1988.12.23	-2.8	+8.7 [△]	-	-
	2)山梨県敷島町 ¹⁾	木造民家	1988.12	8.4	0.3(t)~3.5(b)	+1.9	0.8大 2.1小 0.4大
	3)山梨県一宮町 ¹⁾	木造民家	1988.12	5.0	2.0(b)~2.1(t)	+2.1	2.6大 3.5小 0.8大
	4)山梨県河口湖町 ¹⁾	木造民家	1988.12	3.5	1.7(t)~4.3(b)	+3.0	2.3大 1.3小 1.5大
	5)山梨県山中湖村 ¹⁾	木造民家	1988.12	3.8	-1.1(t)~0.4(b)	-0.8	0.5小 8.0小 2.3小
	6)岐阜県白川村 ¹⁾	合掌造り民家	1988.12	8.4	0.0(ちようだ)~+3.9(台所)	+1.5	0.6大 1.7小 ±0
類 似 外 気 温	7)島根県出雲平野 ¹⁾	木造民家	1870.1.20-2.4	3.7 [△]	+1.8(エンガワ)~+4.3(ナカノマ)	+3.0	2.5大 1.3小 1.5大
	8)山梨県敷島町 ¹⁾	木造民家	1988.4	13.5	0.8(t)~1.8(b)	+1.1	1.2大 4.0小 0.4小
	9)山梨県一宮町 ¹⁾	木造民家	1988.4	15.1	-0.8(t)~0.1(b)	-0.3	±0 5.5小 1.8小
	10)山梨県河口湖町 ¹⁾	木造民家	1988.5	12.8	1.3(t)~2.8(b)	+2.1	1.9大 2.8小 0.8大
	11)山梨県山中湖村 ¹⁾	木造民家	1988.5	11.8	0.8(b)~1.1(t)	+1.0	1.4大 4.5小 0.5小
	12)岐阜県白川村 ¹⁾	合掌造り民家	1988.4	9.4	-0.8(ちようだ)~+1.7(台所)	+0.5	±0 3.8小 1.0小

注: 各調査において内外温度差が最も小さい(大きい)部屋との比較、-:なし、△:測定点は1ヶ所のみ、▲:松江気象台、1月平年値(理科年表)、(b): bedroom, (t): toilet、|: 平均値の変動、●: 平均

表6 ネパールと日本の伝統的住宅の団らん時(暖房時)の上下温度差の比較

基準	対象研究	測定位置[m]		住宅種類	分析期間	外気温 [°C]	上下温度差(T _o (天井付近気温)-T _f (床付近気温)) [K]		違い(本研究基準) [K]
		下部	上部				範囲	平均	
団 らん 時	0)本研究(ネパール)	床上0.10	天井下0.10	石造+木造	1988.12.19-20	14.0	2.7~6.5(石板葺き)	4.5(石板葺き住宅)	最小値と最大値と平均値と
	1)北海道岩見沢 ²⁾	床上0.10	床上1.80	木造	1974-1975	-10.0	-	8.0(Md-E宅)~14.5(W-N宅)	-
	2)岩手県沢内村 ²⁾	床上0.05	床上1.00	木造	1984.1.31-2.8	-8.2	8.0~10.0(No.5宅)	-	5.3大 3.5大 -
	3)山形県八幡町 ²⁾	床上0.05	天井下0.10	農家	1983.1.28-2.3	3.0	15.0(No.5宅)	-	±0 8.5大 -
	4)奈良県奈良市 ²⁾	床上0.10	床上1.00	木造	().12.19-28	5.7 [△]	4.0~8.0(No宅)	-	1.3大 0.5小 -
	5)京都市 ²⁾	-	-	町家	1982.1.18-27	4.0 [△]	-	3.8(T宅)、5.0(Y宅)	-
	6)京都市 ²⁾	床上0.05	天井下0.10	町家	().冬期	4.0 [△]	-	2.8(M-3宅)~11.7(W-2宅)	-

注: 各住宅において最も小さい(大きい)上下温度差との比較、-:なし、△:奈良と京都気象台、12月と1月平年値(理科年表)、▲:最大値のみ、():年度不明、|: 範囲、●: 平均

あげた分析期間の外気温より7.6~16.8°C高いため、本研究の外気温と同じレベルになるように、8)~12)では日本の4、5月の外気温を用いて内外温度差を検討した。しかし、8)~12)の内外温度差は1)~7)の冬季よりも小さい。ネパールと日本の外気温のレベルは異なっているが、暖房期の使用状況をそろえるために、1)~7)の冬季(暖房期)という条件で比較の方が妥当と判断した。内外温度差は、1)~7)の各調査における最も差の小さい部屋と比較すると、0.6(岐阜県白川村)~2.6K(山梨県一宮町)大きい。また、各調査における最も差の大きい部屋と比較すると、1.3(山梨県河口湖町、島根県出雲平野)~3.5K(山梨県一宮町)小さい。更に、各調査における部屋間平均値と比較すると、0.0(岐阜県白川村)~1.5K(山梨県河口湖町、島根県出雲平野)大きい。ただし、5)山梨県山中湖村は除いた。日本の1)~7)調査の内外温度差は本研究の温度差の範囲に入っている。2)~4)は寝室と便所の2ヶ所のみ調査であるので、内外温度差の平均値は本実測より高め(最大1.5K)に出ている。しかし、6)のように本実測と同様に一戸の住宅の各部屋で測定した例と比較すると、外気温のレベルが異なるにもかかわらず、内外温度差の平均値が殆ど一致(1.5K)している事実は注目に値する。7)は防風林の効果で高めに出たと思われる。日本との内外温度差の違いは量的に僅かであり、伝統的住宅の熱的性能は類似しているといえる。

表6に本実測と1)北海道岩見沢の木造独立住宅²⁾、2)岩手県沢内村の木造住宅²⁾、3)山形県八幡町の農家²⁾、4)奈良県奈良市の木造住宅²⁾、5)、6)京都市の町家²⁾、²⁸⁾の団らん時の上下温度差の比較を示す。文献により測定高さは異なるが、上下温度差は、本実測(平均4.5K)より北海道岩見沢市で3.5~10K大きく、京都市町家で1.6K小さい~7.2K大きい。上下温度差の範囲は、本実測(2.7~6.5K)より岩手県沢内村、山形県八幡町、奈良県奈良市で1.3K~8.5K大きい。日本の住宅の団らん時平均の上下温度差は、本実測より最大で10K大きく、暖房方法、採暖習慣、外気温のレベルによる違いと考えられる。

8. 考察

接地階/中間階と屋根裏の内外温湿度差、上下温度差の差異は、接地階/中間階ではドアや窓開閉、薪燃焼などの生活習慣と開口部の

少ない閉鎖的空間構成の熱的性能から生じ、屋根裏のそれらは開口部の多い開放的な空間構成、石板葺き・草葺き・トタン葺きの屋根素材の熱的性能から生じたと考えられる。接地階/中間階の温湿度は、昼間は外部の影響が、朝晩の時間帯は薪燃焼の影響が大きく、屋根裏は昼夜とも外部の影響が大きい。接地階/中間階の内外温湿度差、上下温度差は屋根裏より大きいことから、接地階/中間階の温熱環境は屋根裏より良好であると言える。草葺き屋根は日射や夜間放射冷却の影響がないが、トタン葺き屋根は日射の、トタン葺き屋根と石板葺き屋根は夜間放射冷却の影響があることから、屋根裏の温熱環境に建物間で差が生じ、草葺き屋根の性能が良く、トタン葺き屋根の性能が劣っている。石板葺き屋根の温度変動が昼間は草葺き屋根に近いが、夜間はトタン葺き屋根に近いことから、石板葺き屋根の性能は草葺き屋根とトタン葺き屋根の中間にあるといえる。また、PMVは推奨範囲より、SET*は快適範囲より低いことから、ネパール山岳地帯の人々は熱的快適範囲より低い伝統的住宅で生活しているといえる。一般的にいわれている熱的快適範囲より低い温熱環境ではあるが、彼らは昼間に寒ければ日光を浴び、暑ければ日陰に移動し、夜間に寒ければ薪で暖を取って、温熱環境を調整する。更に、ネパールと日本の住宅を暖房期(冬季)で比較すると、外気温のレベルが異なるにもかかわらず、内外温度差はともに1.5~3.0Kと類似していた。日本のほとんど住宅の上下温度差はネパールより大きく、ほとんどがASHRAE ST-55の推奨値を超えている。

9. 改善案

ネパール山岳地帯の人々の住み方は自然共生的ではあるが、開放されたままの開口部や断熱されていない屋根は、朝晩と夜間の寒い時間帯に冷氣浸入や熱流出に繋がっていると考えられる。また、冬季の寒さを緩和するために大量の薪を消費しているが、近年薪量の確保が困難になっている理由で、薪消費削減が急務となっている。更に、薪燃焼から発生する煙が居住者の健康に悪影響を与えていると思われる。快適な温熱環境を実現し、しかも環境やエネルギー負荷の少ない(薪消費削減)、健康的な住宅(排煙)を実現するために、社会、経済、環境的にネパールで実現可能な以下の改善案を示す。

- (1) 開口部改善による気密化：戸や窓は、現状では常に開放されているが、戸を付けて夜間に閉じられるようにする。
- (2) 屋根改善による断熱化：石板葺き屋根とトタン葺き屋根は断熱性のある材料を設けておらず、屋根に木材と粘土層を設ける。これは従来の天井構法を屋根構法に応用したものである。
- (3) 階段吹抜改善による上下階の分離：階段吹抜からの熱流出や冷気侵入を防ぐために夜間に階段吹抜を木板で塞ぐ。これは約20年前まで伝統的住宅にあった形態を再考したものである。
- (4) 間仕切りによる室内空間の分割：室内の入口や階段付近は半外部的になっているため、暖を取る空間を間仕切で分割する。
- (5) 熱の有効利用による薪消費削減：薪燃焼からの発生熱を建築部位に蓄熱する。
- (6) 炉改善による排煙：現状では開放型炉が使用されており、薪から発生する煙を処理する煙突付きの半密閉型炉を設ける。

なお、これらの改善案の定量的効果はシミュレーションで検証し、別報にて明らかにする予定である。

10. 結論

ネパール山岳地帯における伝統的住宅の温熱環境の評価と改善を目指して、冬季の温熱環境実測を行い、外部環境と住宅計画の関係、内外温湿度差、上下温度差、PMV、SET*、日本の伝統的住宅との比較、改善の方向性について、以下のことを明らかにした。

- 1) 正面である南側の前庭、東と南側の半外部空間は昼間の日照の確保に、南側の開口部配置は昼間の南からの温風の室内導入に、北側と東西側の石造壁は夜間の北からの冷気侵入の防止に役立っている。
- 2) 接地階 / 中間階における平均内外温度差 (内-外) は昼間+2.5K、夜間+4.7K、平均内外絶対湿度差 (内-外) は昼間+0.9g/kg、夜間+1.2g/kg、平均上下温度差 (上-下) は昼間+3.7K、夜間+2.8Kであり、内外の差が殆どない屋根裏より昼夜とも大きいことから、接地階 / 中間階の温熱環境は屋根裏より良好である。しかし、接地階の平均上下温度差は、炉付近で昼間+3.2K、入り口付近で昼間+4.2K、夜間+4.0Kであり、ASHRAE ST-55の推奨値の3Kより大きく、薪で発生する熱の浪費を示唆している。
- 3) 草葺き屋根は日射や夜間放射冷却の影響がないが、トタン葺き屋根と石板葺き屋根には日射や放射冷却の影響がみられ、草葺き屋根の性能が良く、トタン葺き屋根の性能が劣り、石板葺き屋根の性能は両者の中間にあった。
- 4) 日平均PMVは-1.2であり、ISO 7730の推奨範囲±0.5より低い。また、日平均SET*は20.0℃であり、ASHRAE ST-55の快適範囲22.2～25.6℃より低い。ネパール山岳地帯の人々は一般にいわれている温熱的快適範囲より低温で生活していた。
- 5) ネパールと日本の住宅の平均内外温度差は暖房期で比較すると、ともに1.5～3.0Kであった。日本の住宅の団らん時(暖房時)の平均上下温度差の方が、本実測より最大10K大きかった。
- 6) 快適な温熱環境を実現し、しかも環境やエネルギー負荷の少ない(薪消費削減)、健康的住宅(排煙)を実現するために、開口部改善による気密化、屋根改善による断熱化、階段吹抜改善による上下階の分離、間仕切りによる室内空間の分割、熱の有効利用による薪消費削減、炉改善による排煙を提案した。

謝辞

図面の実測に芝浦工業大学・畑研究室の方々に多大なご協力を頂いた。ここに記し、謝意を表す。

本論文に関する既発表論文

- a) H. B. リジャル、吉田治典、梅宮典子：環境形態デザインの手法 ネパールの温暖地域における伝統的な集落の温熱環境、日本建築学会近畿支部研究報告集(環境系)、第39号、pp. 25-28、1999. 6.
- b) H. B. リジャル、吉田治典、梅宮典子：ネパールの伝統的住居の「環境形態」の分析と提案、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)、D-1、pp. 1081-1082、1999.

注

- 注1) 空間構成、構法は伝統的であるが、近年トタン屋根を使用する住宅もあり、検討対象とした。
- 注2) 薪は唯一のエネルギー源であり、一年を通じて調理、暖房、照明(電灯照明がない)、家畜の食料の加工に利用されている。ネパールでは、ストーブではなく薪を燃やして裸火を使用している。冬季の朝晩に薪を燃やして暖をとる。しかし、薪から発生した煙は室内に充満し、開口を経て上部階へも伝播する。近年は薪不足が深刻になっているため、村の役所が許可範囲内で伐採を行っている。
- 注3) トタン屋根は、施工性、耐久性、成金趣味的流行から、最近20年来、草葺き住宅の代わりに、近代的材料として普及しつつある。トタン屋根は、夏季は暑く冬季は寒く、雨や雹が降ると騒音も大きい、値段が安価なため利用者は多い。
- 注4) 村にはヒンドゥー教の生活習慣を持つブラマン族、チェトリ族、バイセ族、スドラ族が住んでいる。村人は山の麓からはぼ頂上まで斜面を切り開いて段々畑を作り、家畜を飼い、自給自足の生活をしている。このような社会構造、ライフスタイルはネパール山岳地帯の広範囲にわたる代表的なものである。

参考文献

- 1) Gerard Toffin Edited: Man and His House in the Himalayas, Sterling Publishers, 1991.
- 2) (社)日本ネパール協会編：ネパールの集落、古今書院、1992.
- 3) 芝浦工業大学・畑研究室、H. B. リジャル、栗原宏光：特集 ネパールヒンドゥー教が山の中に描く集落世界、住宅建築、pp. 30-73、1997年3月号.
- 4) H. B. リジャル、中村奏人、吉田治典：環境共生建築のモデル化 ネパール山岳地帯の自然環境に調和した伝統的な民家に関する考察、日本建築学会、第2回アジアの建築交流国際シンポジウム論文集、pp. 381-384、1998. 9.
- 5) 黒津高行、渡辺勝彦：チョク建築の構造 ネパールの王宮における中庭建築の研究 その1、日本建築学会計画系論文報告集、第408号、pp. 101-109、1990. 2.
- 6) モハン パント、布野修司：Spatial Structure of the Jyapu Community Quarters of the City of Patan, Kathmandu Valley、日本建築学会計画系論文集、第527号、pp. 177-184、2000. 1.
- 7) 木村健一編著：民家の自然エネルギー技術、彰国社、1999.
- 8) 浦野良美、渡辺俊行、林徹夫、内山明彦：九州北部に残る伝統的民家の熱環境に関する調査研究、日本建築学会計画系論文報告集、第371号、pp. 27-37、1987. 1.
- 9) 宇野勇治、堀越哲美、宮本征一、横山尚平：中部日本の山間部における伝統的住宅の室内気候調節と立地集落の微気候、日本建築学会計画系論文集、第532号、pp. 93-100、2000. 6.
- 10) 花岡利昌著：伝統的民家の生態学、海青社、pp. 147-168、1991.
- 11) 窪田英樹、萱野茂、岸下浩治、小笠原康志：アイヌ伝統的住居チセの冬期室内環境、空気調和・衛生工学会論文集、No. 41、pp. 1-10、1989. 10.
- 12) H.M.G. National Planning Commission Secretariat, CBS, Kathmandu, Nepal: A Compendium on Environment Statistics 1998 Nepal, pp. 20, 1998. 5.
- 13) Ram Kumar Pandey: Development Disorders in the Himalayan Heights Challenges and Strategies for Environment and Development Altitude Geography, pp. 53, 203, 290, 1995.
- 14) H.M.G. of Nepal, Ministry of Science and Technology Department of Hydrology and Meteorology, Kathmandu: Climatological Records of Nepal, 1991-1994, 1997.
- 15) Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, ASHRAE Standard, ANSI/ASHRAE 55-1992, 1992.
- 16) Marc E. Fountain, Charles Huizenga: ASHRAE Thermal Comfort Tool, ASHRAE Research Project 781-RP, Environmental Analytics of Berkeley, California, 1997.
- 17) Moderate Thermal Environments Determination of the PMV and PPD Indices and Specification of the Conditions for Thermal Comfort, ISO 7730, 1994.
- 18) 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、日生気誌、27(2)、pp. 57-70、1990.
- 19) 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.
- 20) 五十嵐由利子、梁瀬度子、花岡利昌：民家の微気候学的研究 第7報 出雲平野における屋敷防風林の室内気候に及ぼす影響について、家政学研究、Vol. 18 No. 2、pp. 53-59、1971. 12.
- 21) 絵内正道、荒谷登：住居室の温熱環境の実態、その1、その2、日本建築学会論文報告集、第264号、第265号、pp. 91-97、pp. 105-113、1978. 2、1978. 3.
- 22) 牧田一志、長谷川房雄、吉野博、赤林伸一、菊田道宣：東北地方の住宅における温熱環境調査、その18、日本建築学会東北支部研究発表会、pp. 111-116、1985. 11.
- 23) 菊田道宣、長谷川房雄、吉野博、赤林伸一：東北地方の住宅における温熱環境調査、その16、日本建築学会東北支部研究発表会、pp. 209-212、1983. 11.
- 24) 磯田憲生、西村聰子、久保博子、梁瀬度子：沖縄と近畿地区における住居気候について、ハウスクリマ研究ノート、京都府立大学、第17号、pp. 9-20、1991. 6.
- 25) 松田彰一、鈴長博、松原斎樹：京都における低層密住市街地住宅の温熱環境に関する研究、日本建築学会近畿支部研究報告集、pp. 53-56、1982. 6.
- 26) 松原斎樹、澤島智明：冬季の住宅居間の熱環境について、ハウスクリマ研究ノート、京都府立大学、第18号、pp. 1-8、1992. 6.

(2000年9月7日原稿受理、2001年3月15日採用決定)