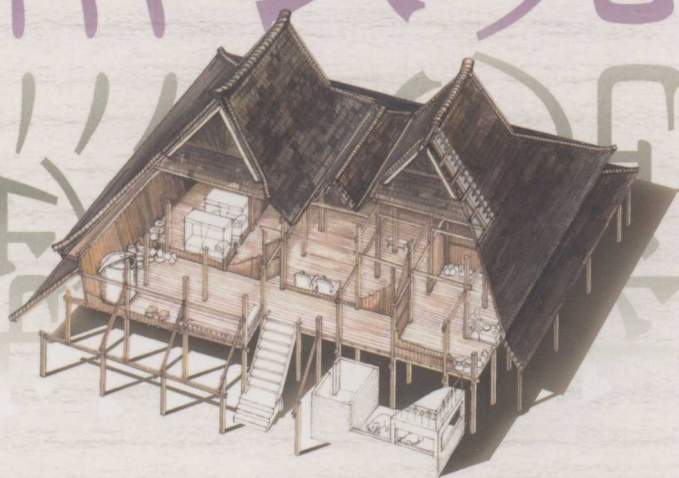


人居熱環境



建築風土設計的第一課
林憲德 著

人居熱環境

西拉雅生態叢書之三

Thermal Environment of Human Habitat

作 者 林 憲 德
發 行 人 詹 文 才
發 行 所 詹氏書局
總 經 銷 詹氏書局
登 記 證 局版台業字第三二〇五號
地 址 台北市和平東路一段一七七號九樓之五
電 話 (02)23918058 (02)23412856
(02)77121688 (02)77121689
傳 真 (02)23964653 (02)77128989
網 站 <http://archbook.com.tw>
E-mail chansbook@gmail.com
劃 撥 帳號／0591120-1 戶名／詹氏書局
I S B N 978-957-705-394-7
初版一刷 2009 年 9 月
定 價 新台幣 400 元

版權所有 翻印必究

國家圖書館預行編目

人居熱環境（西拉雅生態叢書之三）
林憲德 著 一初版— 臺北市：詹氏 2009
[民 98]，272 面：19×26 公分，參考書目：2 面

ISBN 978-957-705-394-7（平裝）

1.建築節能 2.綠建築 3.建築美術設計

441.577

98013351

作者序

本書是我從事建築熱環境教學二十多年的心血。過去，我一直避免許多枯燥的建築物理教材，努力如何讓建築物理學更接近生活與文化，以讓學生能夠發展成為建築造型。有鑑於此，本書希望能結合建築文化、氣候、熱環境的知識大成，以啟發建築設計的靈感。

我深知，建築學群的學生，有許多是幻想做為建築大師的一群，一向對於工程與實務有所抗拒。我跟他們之中許多人一樣，是以建築藝術的志向投入建築系的，但我後來發覺建築學假如缺乏工程智慧，就有如義和團般，永遠無法登入永續設計的殿堂。我曾以建築藝術為己任，以建築系為唯一志願進入大學，我從沒想到我會入建築物理的生涯，只是在大學時期聽膩了空泛的建築理論，厭倦了虛華無實的大師妄想，惶恐於建築工程實務空無一物。

大學中，我一直思索台灣建築是什麼？亞熱帶建築風格是何物？東方建築與西方建築有何不同？當時我很想由風土氣候去反省建築風格，但我們的建築物理與建築設備老師是機械系的老教授，講的都是一些聽不懂的機械原理，或是一些與設計無關的公式，參考書則是一些翻譯日本美國的大雜匯，令我十分不爽。坦白講，我並不喜歡物理數學，我的人文課程與設計成績都名列最前茅，但我只是不爽大學課程完全聽不懂而已，我立志選擇一門最聽不懂的冷門課，好好研究它，將來要寫好教科書，讓建築系的學生容易瞭解它，不要再像我一樣痛苦而已，因此我就毅然決然出國學習建築物理了。今

天，我做到了，我自認能將一本有趣而容易理解的建築熱環境學交給下一代，希望不再令他們不爽。

回想學生時代，看了許多名嘴的著書與翻譯書，常常看不懂、不知所云，常以為自己沒水準而難過。後來我到日本留學，發現當地的書很好讀，一點也不硬掰。有時把外文書拿來與台灣的翻譯書一對照，才知道以前讀的內容根本有許多是翻譯錯誤，甚至有許多是東拼西湊、詞不達意的，才發現我們過去常常是被國王的新衣呼愣，甚至是被騙得團團轉的。回國以後，我常向學生說，假如您看不懂一本書的內容，先不要自責，那一定是寫書者有問題。我也自勉，我一定要寫一些讓人看來清晰明瞭的書，假如有一點看不懂，一定是我的錯，讀者不必自責。

本書取名「人居熱環境」，從風土建築、環境氣候到建築節能，是集我教習建築物理二十餘年的特色，以及我從事本土建築研究的精華，尤其致力於反省歐美寒帶建築風格與高科技設備的迷失，自信是一本立足於亞熱帶特色的建築熱環境學，也是建築專業者邁入永續建築設計的第一課。僅以此書贈與建築學子，希望大家能兼修人文與工程的奧秘，讓設計美學更有堅實的內涵，讓工程實務有更完美的演出。

林憲德 謹誌於知安根

2009/7/19

TU111.19
J922

目錄

序

第一章 氣候的啓示

1-1 人類挑戰氣候的歷史 -----	1
1-1.1 人類發源於熱帶 -----	1
1-1.2 人類以「穴居」與「火塘」征服了寒帶 -----	1
1-1.3 人類以「干欄」征服了熱帶雨林 -----	3
1-1.4 人類以「帳棚」與「泥土」前進沙漠 -----	4
1-2 氣溫的Bergmann法則 -----	6
1-3 氣溫與建築熱傳的變動 -----	8
1-4 氣候的積分指標 -----	13
1-4.1 暖房度日與冷房度日 (heating and cooling degree days) -----	13
1-4.2 暖房度時與冷房度時 (heating & cooling degree hours) -----	14
1-4.3 山地溫度遞減的修正 -----	16
1-4.4 冷房日射時IHk (insolation hours) -----	17
1-5 濕度的啓示 -----	18
1-5.1 濕度與熱焓 -----	18
1-5.2 熱濕氣候是人居熱環境設計的挑戰 -----	22



第二章 太陽的啓示

2-1 太陽與地球的相對位置 -----	27
2-2 太陽位置 -----	28
2-3 日照sunshine -----	31

2-4 日射 solar radiation -----	33
2-5 相當外氣溫度 -----	38

第三章 風的啓示

3-1 風速與風向 -----	43
3-2 地形風 -----	46
3-3 建築物戶外風場 -----	50
3-4 戶外通風計畫 -----	54
3-4.1 都市風道計畫 -----	54
3-4.2 社區通風防風計畫 -----	55
3-5 室內通風計畫 -----	56
3-5.1 風力通風計畫 -----	58
3-5.2 浮力通風計畫 -----	63
3-6 建築風環境的評估 -----	67

第四章 熱環境評估指標

4-1 人體熱平衡 -----	71
4-2 人居熱環境的六大因素 -----	72
4-2.1 何謂代謝量(metabolic rate) -----	72
4-2.2 何謂著衣量(clothing) -----	74
4-3 室內熱環境的舒適範圍 -----	76
4-3.1 有效溫度ET及其舒適範圍 -----	76
4-3.2 新有效溫度ET*及其舒適範圍 -----	78
4-3.3 PMV與PPD -----	79
4-3.4 自然通風室內環境的熱舒適範圍 -----	80
4-4 戶外熱舒適度及舒適範圍 -----	82

4-4.1 綜合溫熱指數WBGT -----	82
4-4.2 周壁平均輻射溫度MRT -----	84
4-4.3 MRT的舒適範圍 -----	85

第五章 熱環境的見證

5-1 室內熱環境的見證 -----	87
5-1.1 干欄民居的熱環境 -----	87
5-1.2 高蓄熱民居的熱環境 -----	90
5-1.3 鐵皮民居的熱環境 -----	94
5-1.4 玻璃大樓的熱環境 -----	97
5-2 室外熱環境的見證 -----	98
5-2.1 鋪面微氣候的見證 -----	98
5-2.2 三合院民居熱環境的省思 -----	100
5-2.3 戶外遮蔭的重要性 -----	102
5-2.4 打破玻璃屋的迷思 -----	106

第六章 都市氣候與社區微氣候評估

6-1 都市熱島效應 -----	109
6-2 都市冷島 -----	111
6-3 都市熱島的實測 -----	112
6-4 都市熱島強度的國際比較 -----	114
6-5 社區微氣候評估 -----	116
6-5.1 減緩熱島效應四大對策 -----	116
6-5.2 熱島效應簡易評估公式 -----	118
6-5.3 「戶外通風效益」之評估說明 -----	122
6-5.4 「熱島減緩效益」之評估說明 -----	130

6-5.5 評估實例 -----	132
6-6 小結 -----	135

第七章 建築外殼熱性能指標

7-1 建築是人類的第三層皮膚 -----	137
7-2 建築外殼的保溫性能與遮陽性能 -----	140
7-2.1 建築外殼的保溫性能 -----	140
7-2.2 建築外殼的遮陽性能 -----	143
7-3 台灣的建築外殼熱性能設計 -----	148
7-3.1 概說 -----	148
7-3.2 我國住宿類建築的節能設計指標Req -----	151
7-3.3 我國的空調型建築的節能設計指標ENVLOAD -----	155
7-3.4 學校及大型空間類建築物能設計指標AWSG -----	159

第八章 熱環境與空調節能

8-1 建築界的空調設備常識 -----	161
8-1.1 冷凍機原理 -----	162
8-1.2 窗形冷氣機 -----	163
8-1.3 箱形冷氣機 -----	164
8-1.4 一對多變冷媒空調系統 -----	164
8-1.5 中央空調系統 -----	166
8-2 空調負荷與空調耗能的結構 -----	167
8-2.1 空調設備容量設計概要 -----	167
8-2.2 空調耗能的結構 -----	171
8-3 熱源系統節能計畫 -----	172
8-3.1 冰水主機超量設計與低效率的困擾 -----	172

8-3.2 如何防止冰水主機超量設計	173
8-3.3 如何掌握高效率冰水主機設計	174
8-4 自然通風設計是空調節能之母	175
8-5 空調與自然通風並用設計	178
8-6 不要迷信中央空調與區域供冷	180

第九章 建築節能與風土設計

9-1 由住宅耗能見證建築風土	184
9-2 住宿節能設計的重點在於自然通風設計	184
9-3 空調型建築的建築風土設計	185
9-3.1 空調型建築的節能對策	185
9-3.2 辦公建築的開窗節能計畫	189
9-3.3 選用好的節能玻璃	190
9-3.4 外遮陽節能計畫	193
9-3.5 建築外殼絕緣保溫計畫	196
9-3.6 屋頂節能計畫	198
9-4 小結：熱濕氣候的建築美學風土	200

第十章 綠色建築的展望

10-1 地球環境危機	203
10-2 建築產業對環境的破壞	206
10-3 迎接「綠色建築」的新時代	209
10-4 世界綠色建築評估體系的潮流	211
10-5 亞熱帶的綠色建築挑戰	213
10-6 慎防綠色建築對高科技的迷思	217
10-7 綠色建築商業化的隱憂	220

10-8 四倍數綠色建築革命 -----	221
附錄一 台灣各地區DH與IHk值 -----	223
附錄二 台灣建築節能規範相關氣象資料 -----	229
附錄三 空調熱負荷計算 -----	235
附錄四 國際建築外殼節能法令 -----	249
參考文獻 -----	261

第一章 氣候的啟示

1-1 人類挑戰氣候的歷史

1-1.1 人類發源於熱帶

根據考古人類學的看法，遠古人類的發源地可能在熱帶森林周邊比較溫暖潮濕的地區，因為熱濕熱帶的全年溫度約在 29°C 左右，在生理上最適合無衣著、無住屋的遠古人類「裸猿」生存，而且熱帶森林區豐富的動植物恰可提供人類充足的糧食。現在地球上除了人以外的靈長猿猴類動物，都集中分佈於熱濕熱帶氣候區，更印証了文明前的靈長人類可能發源於熱帶的說法。

今日人類皮膚平均表面溫度喜歡維持在 33°C 左右，而人類所穿的衣服與皮膚間的氣候則都喜歡維持在溫度 $32\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、濕度 $50\pm 10\%$ 左右。有人認為這種體質是遺傳自生活在熱帶森林氣候下的遠古人類的溫熱感覺，因為這種體表溫度在平均氣溫 29°C 附近的熱濕熱帶森林下，剛好可保有適量的皮膚散熱以維持最佳的日常新陳代謝機能。現代環境生理學認為，人類在穿薄長褲、長襯衫(保溫值 0.6Clo)時，感到最舒適的氣候約在溫度 $25\pm 2^{\circ}\text{C}$ 與濕度 $45\pm 20\%$ 的範圍。假如人類裸體不穿衣服(保溫值 0.0Clo)的話，則日常活動感到舒適的氣溫就接近於 29°C 了，也就是接近於遠古人類發源的熱帶森林氣候了。

1-1.2 人類以「穴居」與「火塘」征服了寒帶

發源於富庶熱帶的「裸猿」，為了拓展生活圈，向著不適於裸體生活的寒帶、雨林、沙漠邁進。除了穿起了避寒的衣物之外，首先人類是以



圖1.1 人類以「火塘」擴展了生活圈

「穴居」與「火塘」在寒冷氣候中殺開了生路，開拓了廣大的生存範圍。所謂「穴居」就是將居住面下挖，藉以防風避寒的居住型態，而「火塘」則是取暖用的設備（圖1.1），這兩種避寒工具通常同時存在，成為人類拓展寒冷氣候生活圈無往不利的武器。下挖式「穴居」乃是依靠巨大土壤的「低熱傳導」與「高蓄熱」之功能來保溫的智慧，尤其能將室內火塘所散發的輻射熱蓄積於土壤內，是一種輻射採暖科技的偉大智慧。

只要不是終年炎熱的熱帶，「穴居」與「火塘」在亞熱帶稍微乾燥之地均可適用。自古以來全球北緯20度以北地區，由亞熱帶到寒帶，均可發現「穴居」與「火塘」並存的住家遺跡。您萬萬沒想到遠至四萬年前在西伯利亞凍原地帶，就有Dyuktai人以馴鹿與長毛象骨頭堆砌成「穴居」，度過冰天雪地的長冬，甚至愛斯基摩人的冰屋Igloo也是一種「穴居」與「火塘」的組合。在北美洲西北高原的Thompson印地安人則建造著完全由泥土覆蓋，只用一座木梯由頂部通風口進出的「穴居」（圖1.2），甚至直到七十年前在亞熱帶島嶼的台灣泰雅族，也建造著深兩公尺的「穴居」以避中央山脈海拔一千五百公尺的寒風（圖1.3），「穴居」分佈之廣，令人訝異。

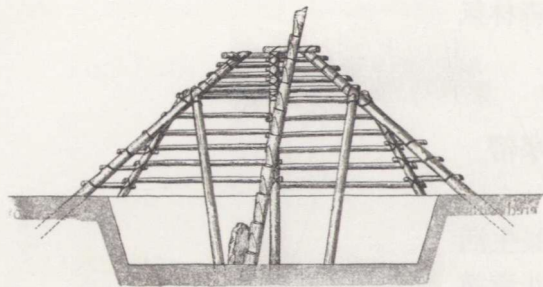


圖1.2 北美西北高原地區Thompson印地安族的穴居剖面圖（取自Nabokov P. & , p177）

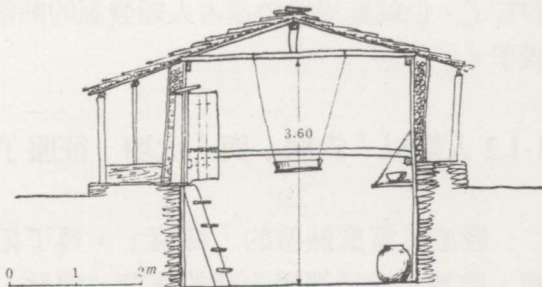


圖1.3 台灣北部山區泰雅族民居剖面圖（1930年代日本千千岩助太郎測繪圖）

1-1.3 人類以「干欄」征服了熱帶雨林

發源於富庶熱帶的「裸猿」，進一步以「干欄」進入了蟲毒瘴癘的熱帶雨林區。所謂「干欄」就是以竹木結構將生活層撐高起來的高腳形住家。自古以來，「干欄」主要分佈於熱濕熱帶地區（圖1.4），小部分分佈於亞熱帶的丘陵山地區（圖1.5）。由於「干欄」既可避免洪水猛獸，同時具有良好通風性能，可促進蒸發冷卻，達到除濕的功能，是熱濕氣候居家衛生的智慧。古代干欄民居的人家，常把牛、豬、雞鴨等家畜豢養於樓板下，一方面可保護家畜財產，一方面也可藉家畜的騷動來警示盜匪的偷襲，形成一種有效的防衛體系。



圖1.4 泰國中部的干欄民居

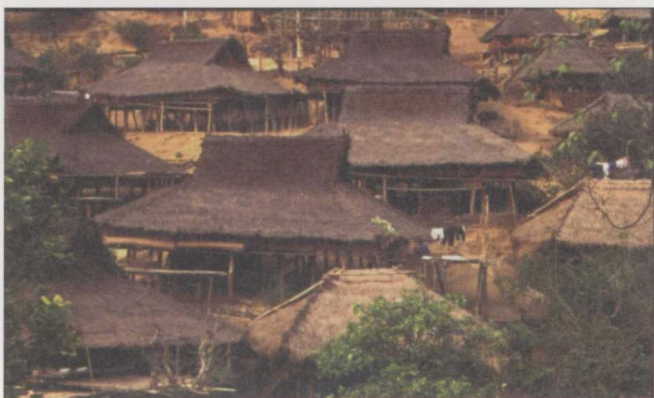


圖1.5 中國雲南丘陵山地的干欄民居

1-1.4 人類以「帳棚」與「泥土」前進沙漠

發源於富庶熱帶的「裸猿」，進一步以「帳棚」與「泥土」前進乾燥的沙漠氣候區。由於乾燥氣候的荒漠會大量奪去人體水分，人類必須同時對抗烈日與乾旱，才能存活。游牧民族以「帳棚」為機動式臨時住家，在寒冷氣候沙漠中採用完全封閉形式的帳棚（如北亞凍原氣候的蒙古包，圖1.6）；在酷熱沙漠中則採用緊貼地面的低矮型帳棚（如中亞與北非沙漠的黑天幕black tent，圖1.7）。帳棚以繩索拉張編織布而成，具有阻擋風沙的功能，在良好天候時還可將帳布掀起，變成開放型帳棚；另一方面也可隨著暴風沙之方向，匍匐固定於沙丘之後，變成防風型的低矮帳棚。這些帳棚可以在十幾分鐘之內，機動地完成收拾、裝運、移動，是瞬息萬變的夢幻式有機建築，也是十分完美的沙漠型綠色建築。

至於在有水源的沙漠邊緣區，「泥土」則是提供一切定居的素材，不管是由夯土做成的清真寺（圖1.8），或是由泥曬磚疊砌而成的住家（圖1.9），甚至在黃土高原挖砌出來的窖洞，都是取之於泥土、形之於泥土、歸之於泥土的生態循環建



圖1.6 適合沙漠游牧生活的19世紀西伯利亞凍原地帶寒冷型帳棚（Philip Drew，1979）

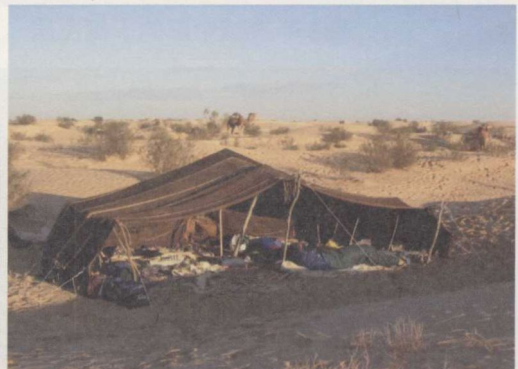


圖1.7 Sahara沙漠的黑色帳棚（由David J. Greer攝影提供）

築。由於泥土建築必須為厚重的承重牆，因此有很好的蓄熱功能，是一種冬暖夏涼的構造。在乾熱沙漠地區，常常出現「帳棚」與「泥土建築」並存的居住型態，人們在酷熱的白天居於「泥土建築」內以避暑，在晚上為了避免蓄熱於泥土牆內的太陽輻射再放熱，則搬至通風良好的半戶外「帳棚」內住以乘涼。總之，「帳棚」與「泥土」是沙漠地區人類對付激烈乾燥氣候變化的綠色建築技術。



圖1.8 北非Mali共和國的回教清真寺

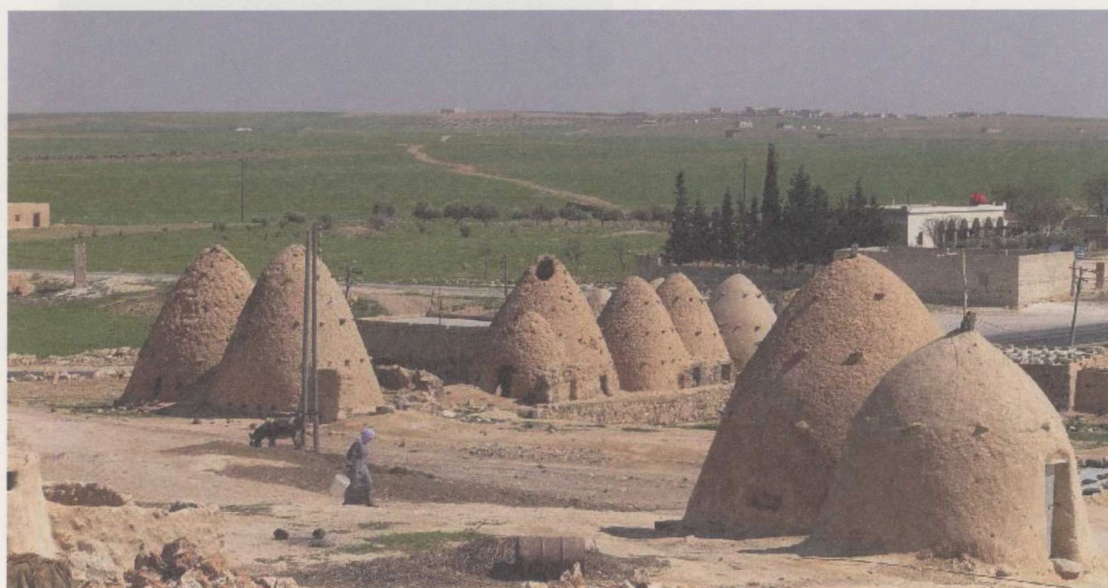


圖1.9 中亞沙漠氣候敘利亞的蜂巢型泥磚民居

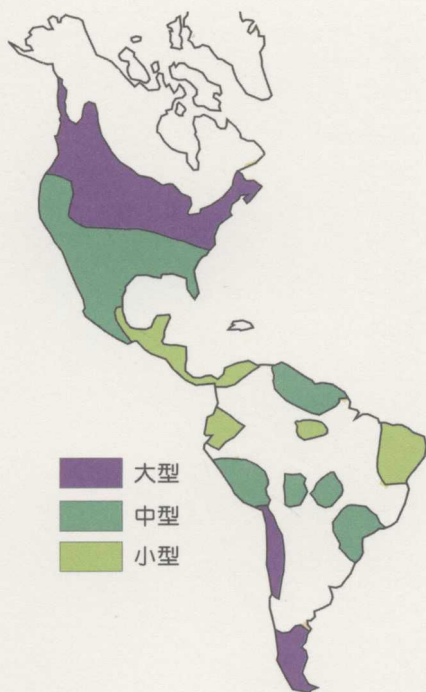


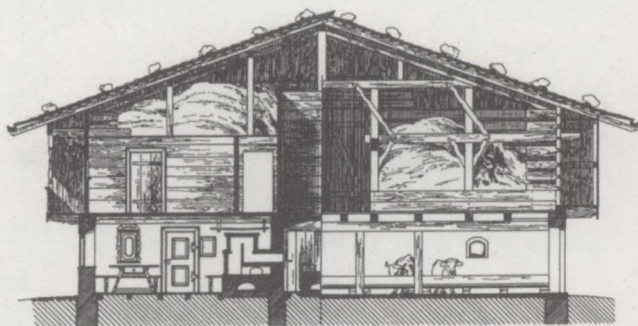
圖1.10 在越寒冷地區的美洲豹體形較大以保持體溫（符合Bergmann法則，改繪自Newman, 1955）

1-2 氣溫的Bergmann法則

生物界有許多適應氣候之道，對人類的建築設計有莫大的啓示。例如，生物學上有一種Bergmann法則(Bergmann, 1865德生物學家)，認為溫血動物爲了適應不同的寒暑氣候而改變其體形大小。在同種的溫血動物中，生長在越寒冷地區的動物爲了維持體溫並減少散熱，常演化成體形較大的品種；相反地，在熱帶的動物則演變成體形較小的品種，以增加體表面積來散熱(圖1.10)。過去我們常聽聞說「北方人人高馬大，南方人小巧玲瓏」，就是此法則的寫照。有人曾統計德國、法國、義大利人的體重與體表面積之比，各爲39.1、37.8、37.1。亦即較寒冷氣候的下的德國人較爲肥胖，而較溫暖氣候下



a - 東立面圖



b - 橫斷面【左一居室部分，右一畜舍部分】

圖1.11 寒冷阿爾卑斯山區木造民居體型大、人畜共居、集中採暖以保暖

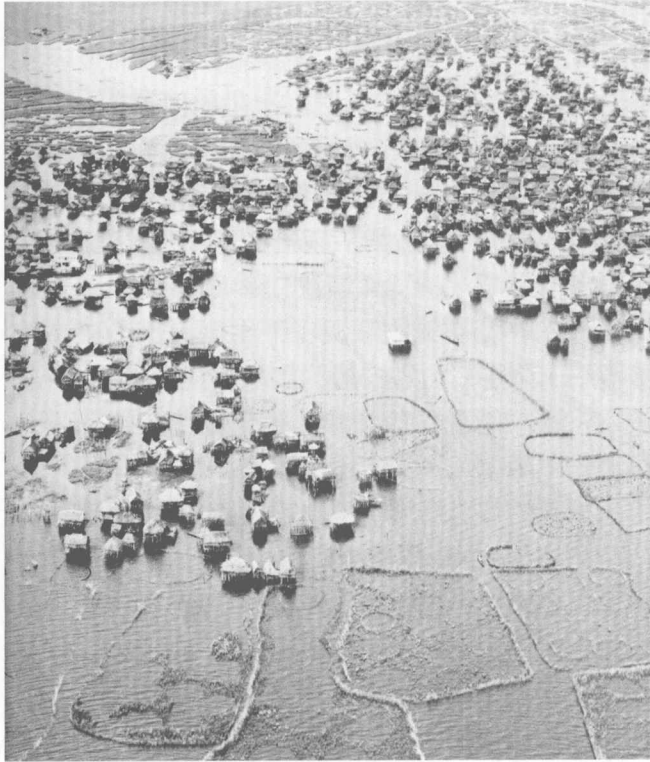


圖1.12 熱濕氣候的南方民居小而分散以利通風散熱

的義大利人較為瘦長，這無非也是Bergmann法則的明証。

古代的北歐農家爲了在寒冷氣候中抗寒，常把牲畜集中豢養於室內，利用牲畜體溫之散熱來採暖，同時把糧草倉庫置於屋頂閣樓以保溫，而人類則居住於最溫暖的中間層(圖1.11)。此外，越寒冷地區的住家規模通常越大，其住家外形通常做成方正、渾圓、平整的造形，以減少散熱表面積，其家人常集中而住，以共同取暖，房間則圍繞著採暖的壁爐煙囪而設，以防熱能浪費。相反地，熱濕氣候的民居通常規模較小，以利通風散熱，有時甚至做成干欄型的高腳屋，以增加通風面積。其外形常附有凹凸的遮庇或屋簷，以利導風散熱(圖1.12)。這北方渾圓巨大、南方小巧玲瓏的風土建築形態，完全符合Bergmann的保溫法則，此乃氣溫給人類建築設計的最佳啓示。