

Manipulation of environmental elements: heat, air, water

環境要素(熱、空気、水)の操作



What are the four environmental elements that influence the sensation of hot and cold?

暑さ寒さを左右する4つの環境要素は何か？

- 気温 (air temperature)

Heat exchange caused by temperature difference between ambient air and the solid surface (convection)

周囲の空気と固体表面の温度差による熱交換 (対流)

- 湿度 (humidity)

Evaporation of sweat, insensible excretion (latent heat ⇌ sensible heat)

汗の蒸散、不感蒸泄 (潜熱 ⇌ 顯熱)

※*Latent heat: Heat required when the phase of a substance changes. The temperature does not change (heat of melting and evaporation)

潜熱：物質の相が変化するときに必要とされる熱で温度変化しない (融解熱・蒸発熱)

- 気流 (air movement)

Involved in convection and water evaporation

対流と水分蒸散に関与

- 表面温度 (surface temperature)

Electromagnetic waves with energy proportional to the fourth power of the absolute temperature of the environmental surface are emitted. (Stefan-Boltzmann's law)

環境構成面の絶対温度の4乗に比例したエネルギーの電磁波が放射される (シュテファン - ボルツマンの法則)

To create a comfortable indoor environment, heat transfer must be controlled

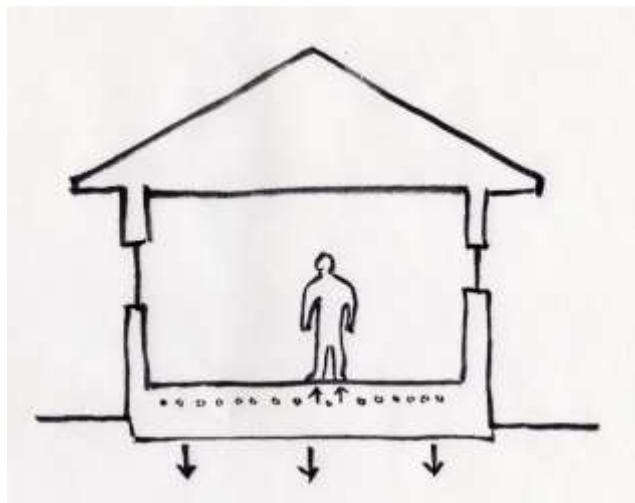
快適な室内環境を作るには、熱の移動をコントロールする必要がある

There are three types of heat transfer

熱の伝わり方には3種ある

Conduction (heat conduction)

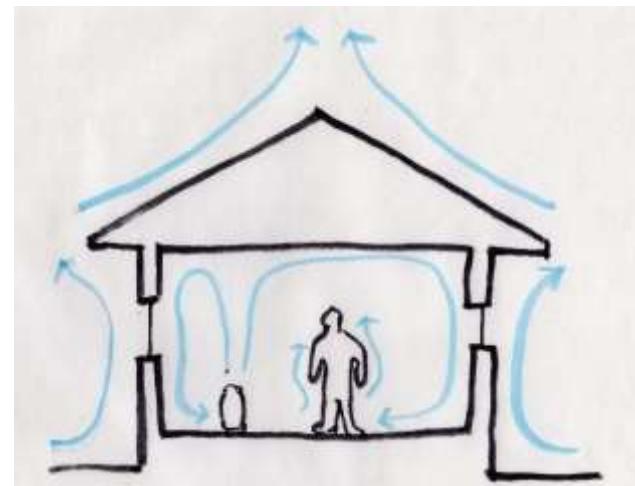
伝導(熱伝導)



Heat flow caused by temperature difference inside a solid
固体内部での温度差による熱流

Convection (convective heat transfer)

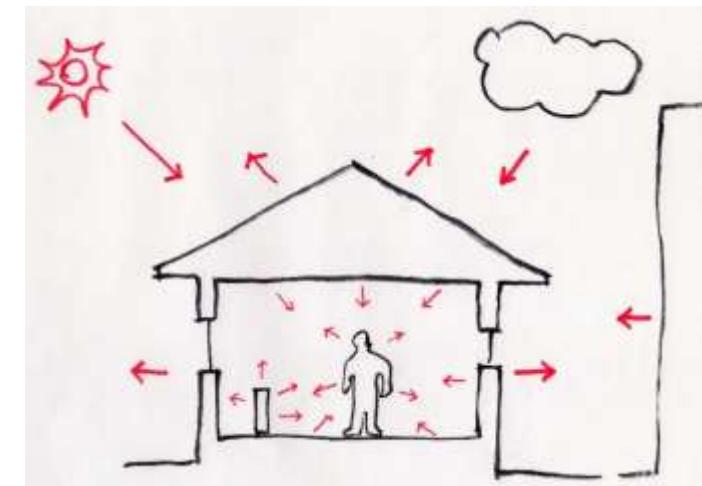
対流(対流熱伝達)



Heat transfer between solid and fluid (air)
固体と流体(空気)との間の熱移動

Radiation (radiant heat transfer)

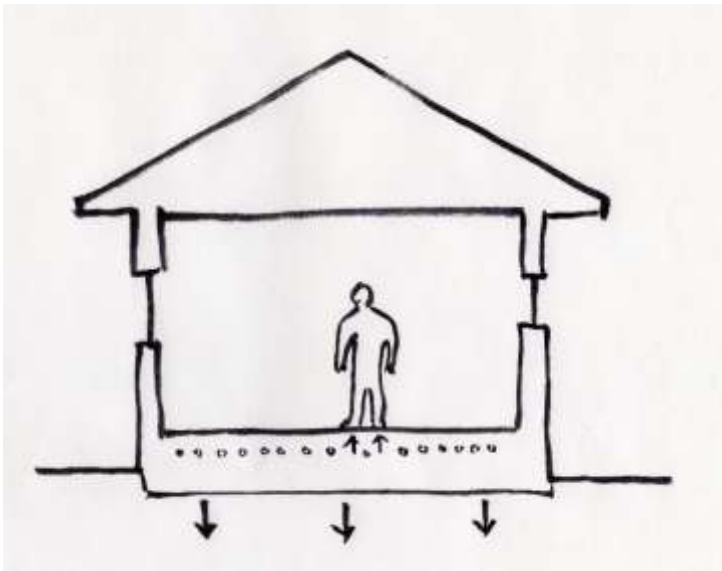
放射(放射伝熱)



Heat flow caused by temperature differences between solid surfaces
固体表面間での温度差による熱流

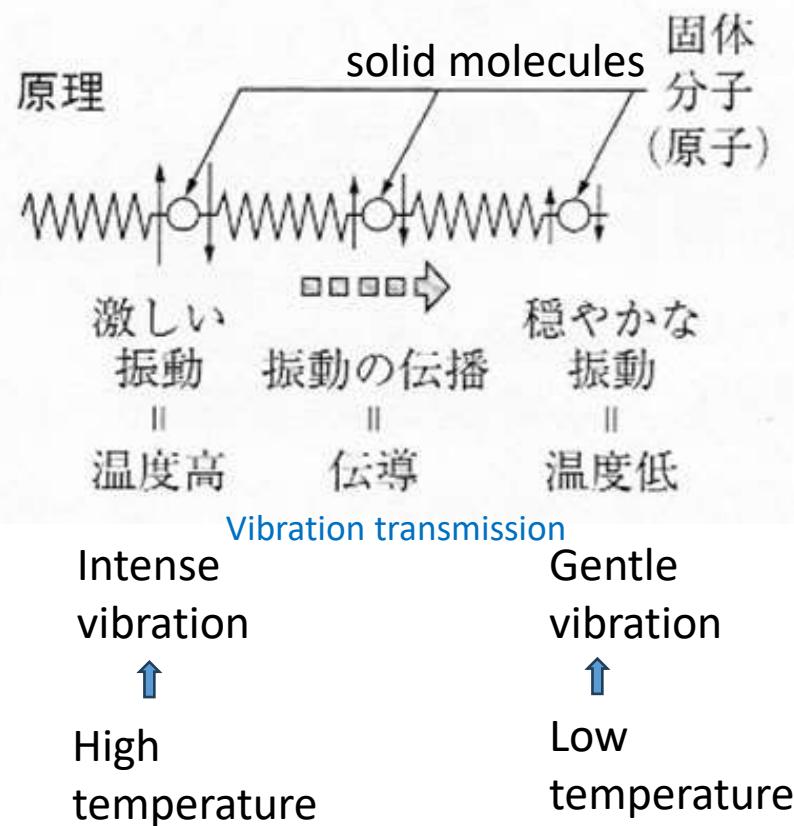
Heat transfer by conduction

伝導による熱移動



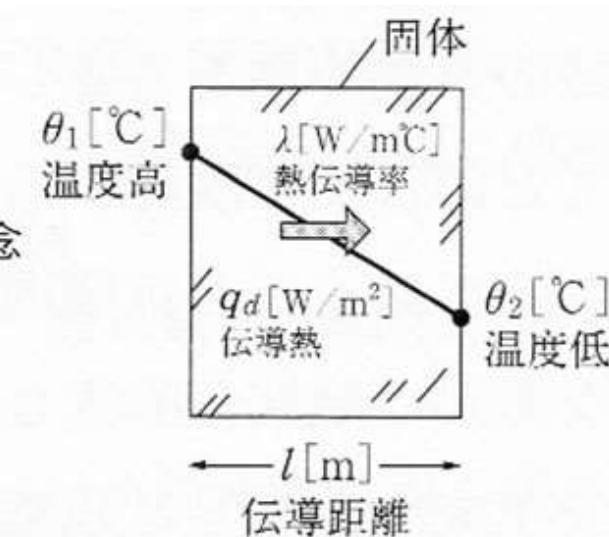
Heat flow caused by temperature difference inside a solid
固体内部での温度差による熱流

Principle 原理



Amount of heat transfer by conduction
伝導による熱の移動量

Concept 概念



Conducted heat

$$\text{計算式} \quad q_d = \lambda \frac{\theta_1 - \theta_2}{l} [\text{W/m}^2]$$

λ : Thermal conductivity

l : Conduction distance

θ : Temperature

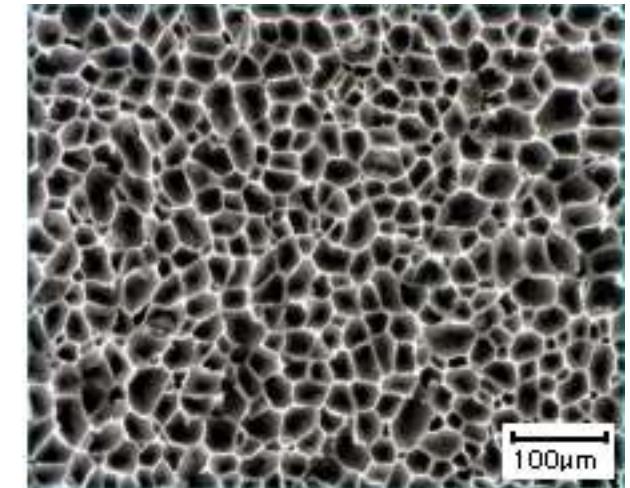
Thermal characteristic values of building materials

表 2.1 主な建築材料の熱特性値

Thermal conductivity

材料分類	材料名	熱伝導率 λ [W/m·K]	比 熱 c [kJ/kg·K]	熱拡散率 a [m ² /s] × 10 ⁶	熱容量 $c\rho$ [kJ/m ³ K]	密 度 ρ [kg/m ³]
金 属	アルミニウム 鋼 材	210.0	0.92	84.20	2486.0	2700
		46.0	0.50	11.80	3948.0	7860
セメント 系	鉄筋コンクリート A L C	1.40	0.88	0.69	2022.0	2300
		0.15	1.10	0.23	653.0	600
板 硝 子 れ ん が	板ガラス れ ん が	0.70	0.75	0.37	1914.0	2540
		0.61	0.84	0.44	1381.0	1600
木 質 系	天然木材 合 板	0.12	1.30	0.23	519.0	400
		0.19	1.30	0.26	714.0	550
石こう系	石こうボード 木毛セメント板(普通品)	0.14	1.10	0.15	904.0	800
		0.14	1.70	0.17	837.0	500
繊 維 板	A級インシュレーションボード パーティクルボード	0.049	1.30	1.40	324.0	250
		0.116	1.30	0.18	649.0	500
繊 維 系 断 热 材	グラスウール セルローズファイバー ロックウール	0.046(0.04)	0.84	5.56	12.6(16.7)	15(20)
		0.039	1.30	7.86	50.2	40
		0.039	0.84	—	33.5	40
発 泡 系 断 热 材	硬質ウレタンフォーム 発泡ポリスチレン フォームスチレン	0.027	1.05	0.64	41.9	40
		0.037	1.05	1.28	29.3	28
		0.037	1.05	1.19	31.4	30(1号)
その 他	水 空 気	0.58	4.19	0.14	4180.0	998
		0.022	1.00	16.90	1.3	1.3

Why is it bad when insulation gets wet?
断熱材が濡れるとまずいのはなぜ?



Foamed polystyrene

Adobe Architecture アドベ建築

Thick walls made of sun-dried bricks are suitable for dwellings in the dry tropics, where the temperature difference between day and night is extreme. [Why?](#)

日干しレンガでできた厚い壁は、昼夜の寒暖差が激しい乾燥した熱帯地方の住居に適している。



Taos Pueblo Housing Community, New Mexico
タオス・プエブロの集合住宅、ニューメキシコ

Examples of adobe architecture

アドベ建築の例



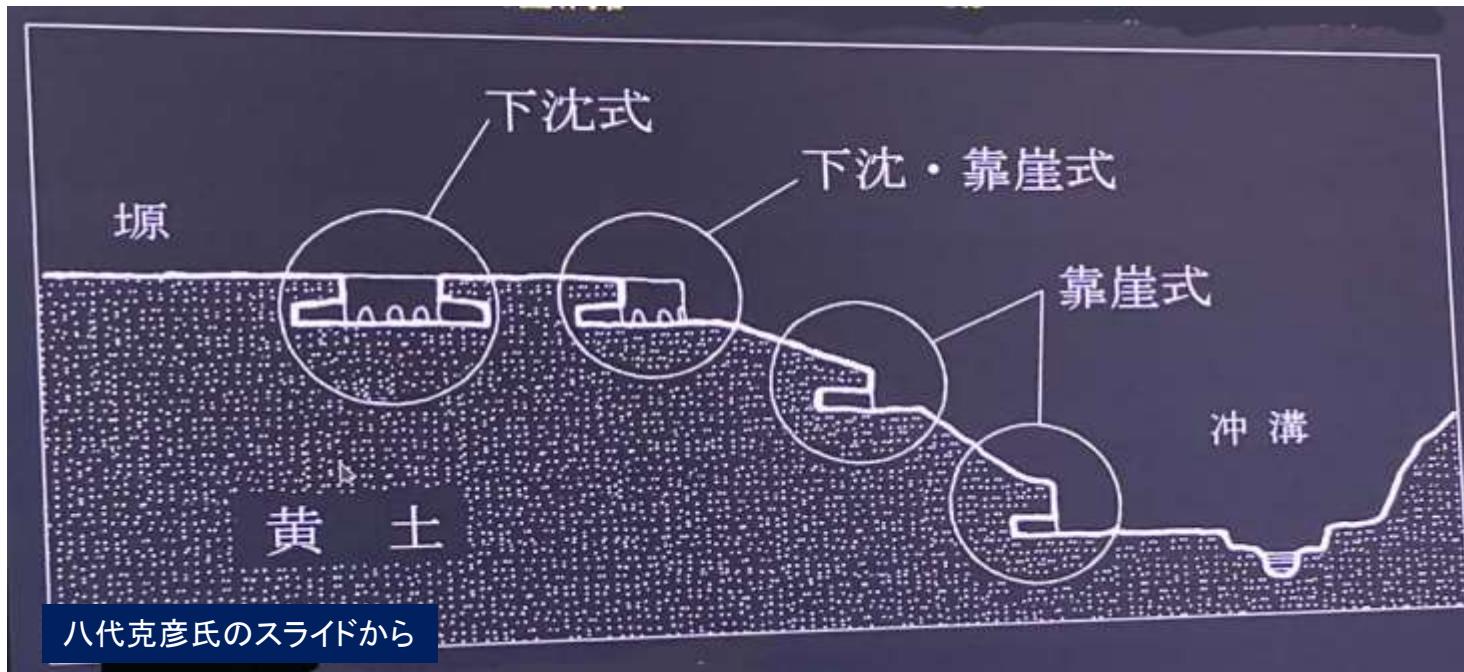
Pecos national historic park, NM.
ペコス 教会遺跡



Museum of New Mexico, Santa Fe

Yaodong Dwelling 窑洞

Underground Dwelling on the Loess Plateau, China
中国黄土高原の地下住居



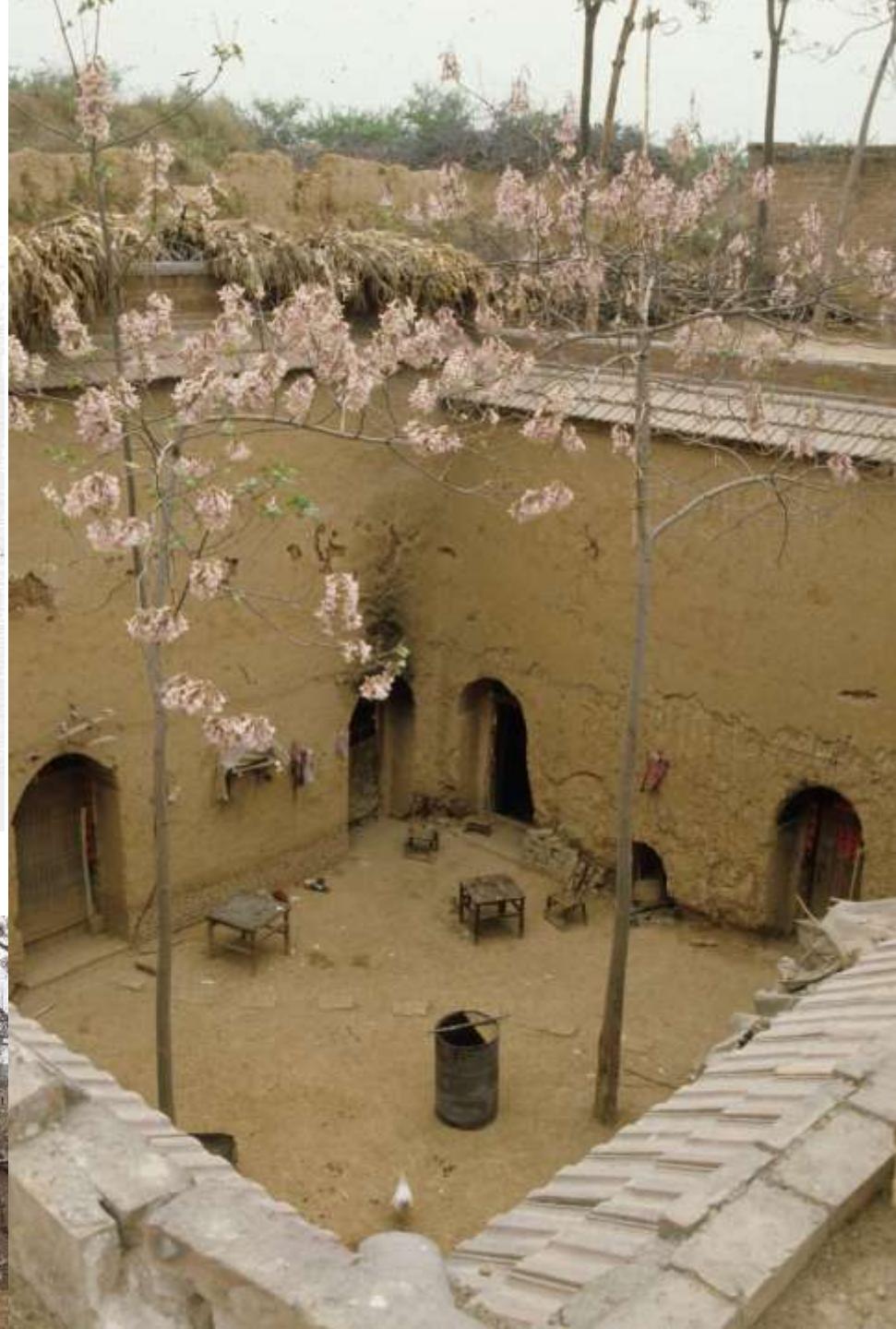
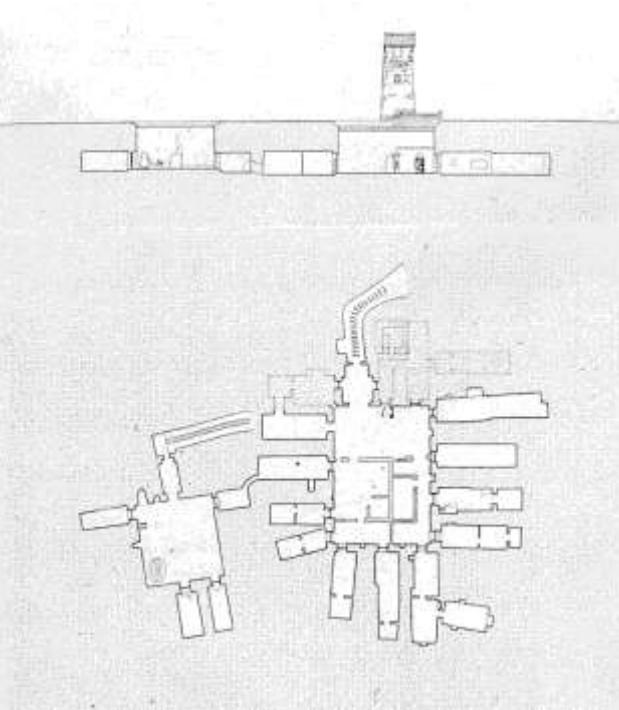
下沈式 柏社 2023



靠崖式 延安 2023

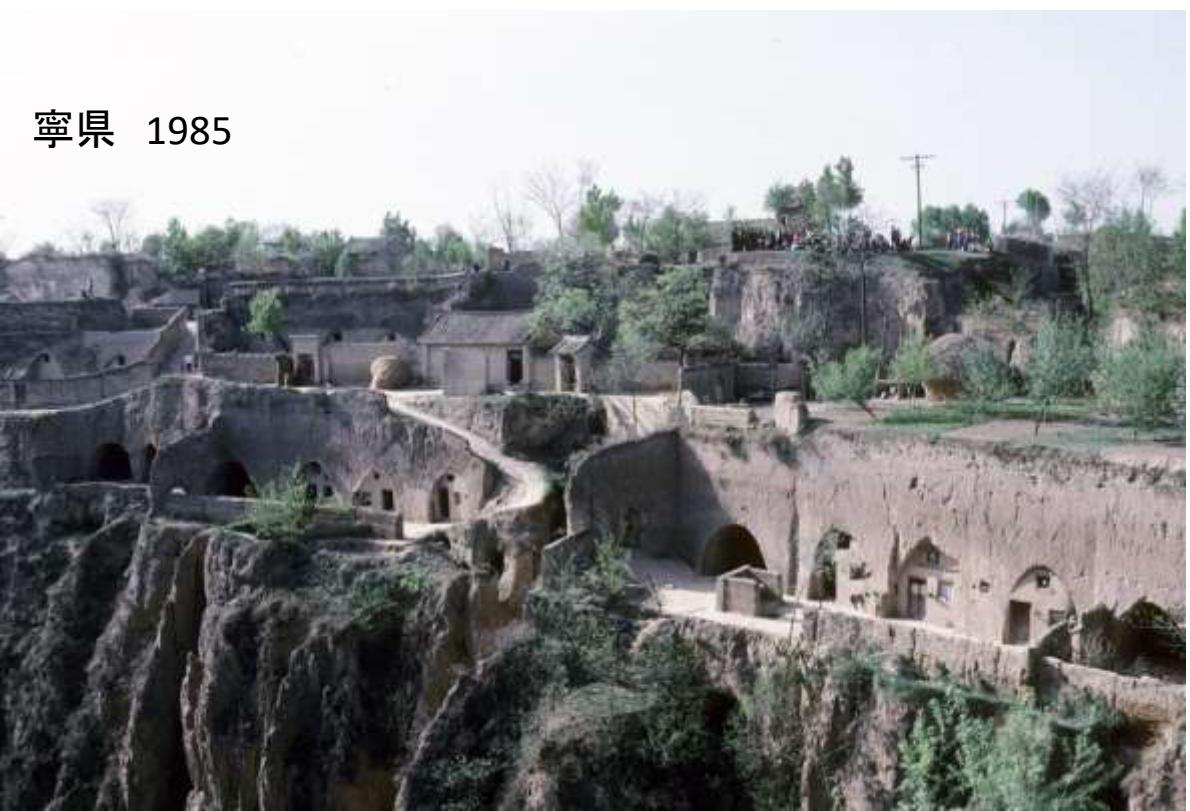
Yaodong Dwelling in 1980's

1980年代の窑洞



Yaodong Dwelling in 1980's

1980年代の窑洞



Internal and external thermal insulation

内断熱と外断熱

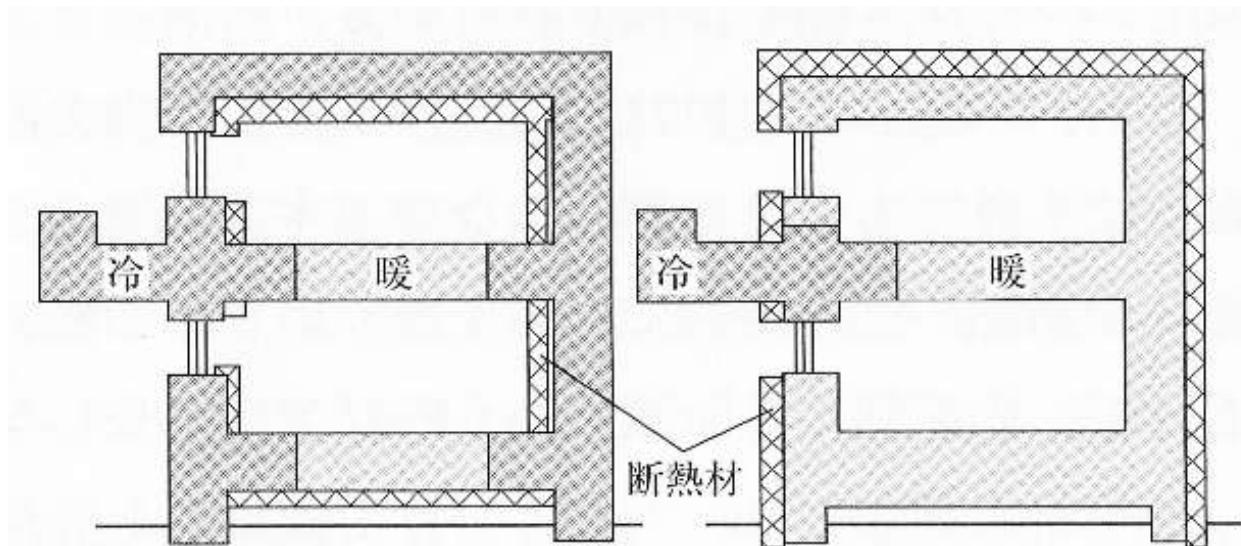


図 2.13 RC 造における内断熱(左)と外断熱(右)⁷⁾

Internal and external insulation in reinforced concrete buildings

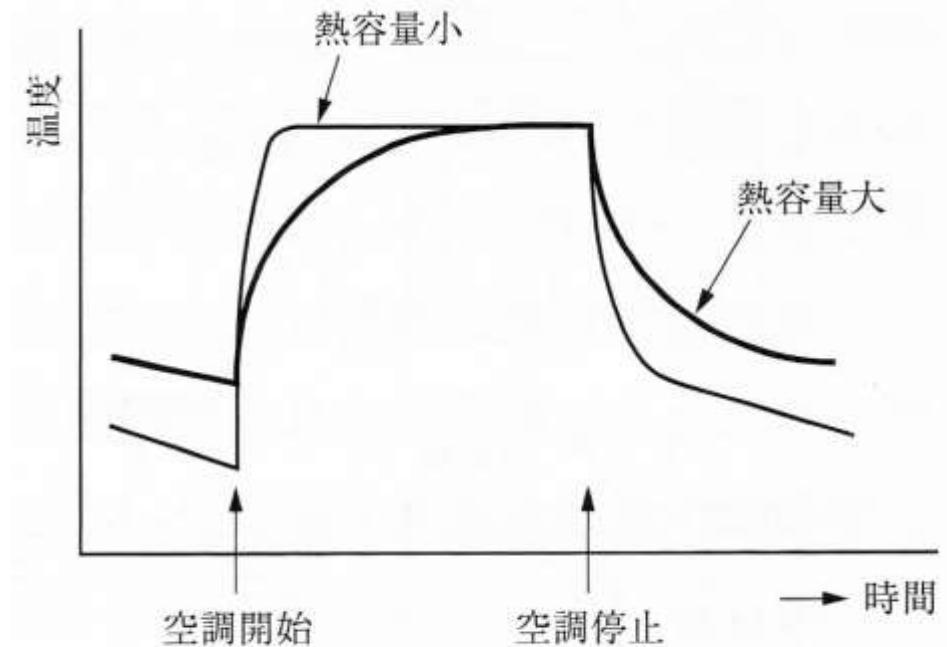
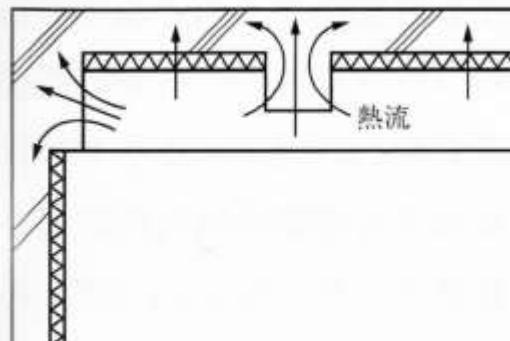
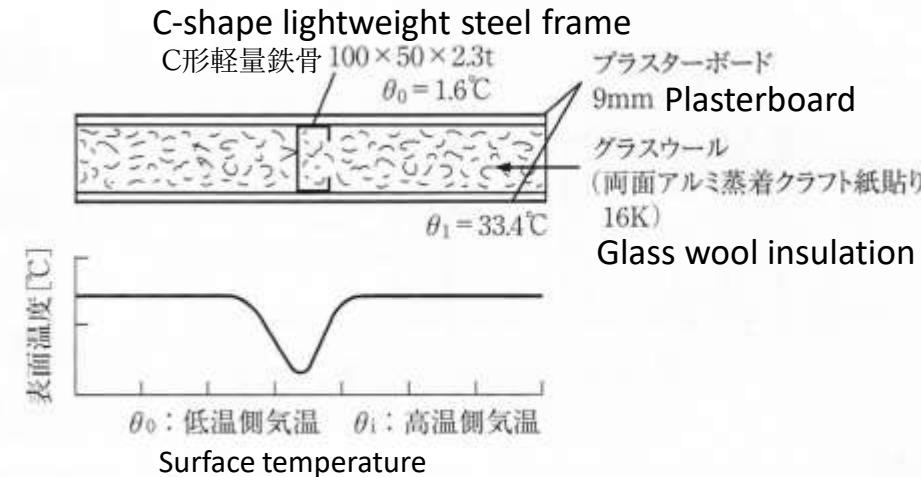
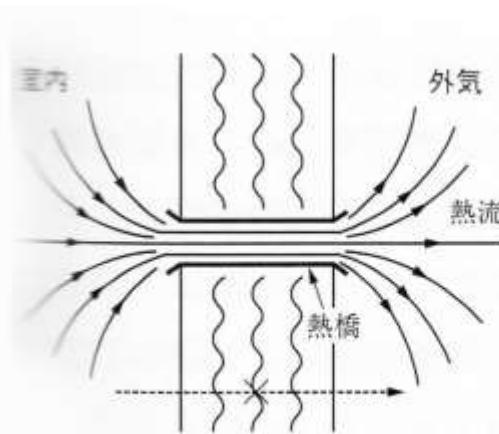


図 2.4 热容量による室温変動の違い(暖房時)

Difference in room temperature variations due to thermal capacity (during heating)

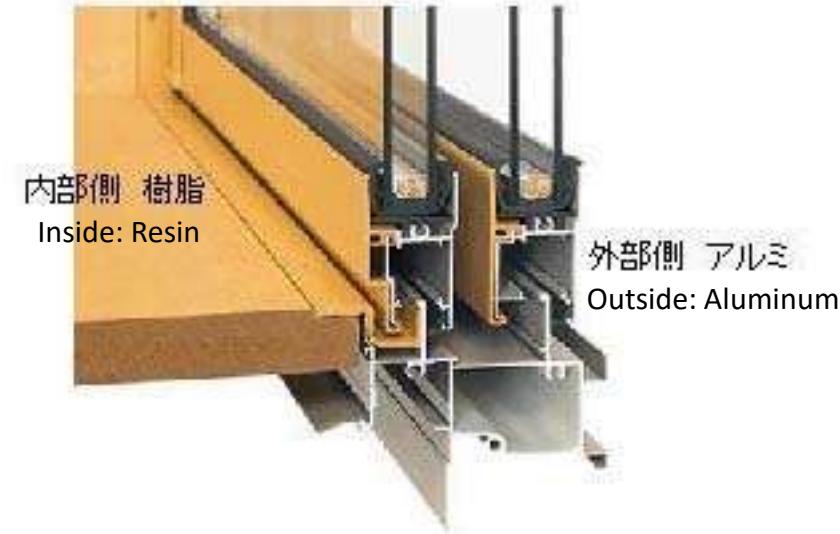
Heat Bridge Phenomena

ヒート・ブリッジ(熱橋)現象



Structure of composite resin window sash

複合樹脂サッシの構造 (断熱サッシ)



In general, the thickness of the air layer in pair glass is 6mm or 12mm. Why does the effect decrease when the air layer is thicker than that?

ペアガラス一般に空気層の厚さは 6mm、12mmだが、それ以上厚くするとむしろ効果が落ちるはなぜか？

Heat transfer by convection

対流による熱移動

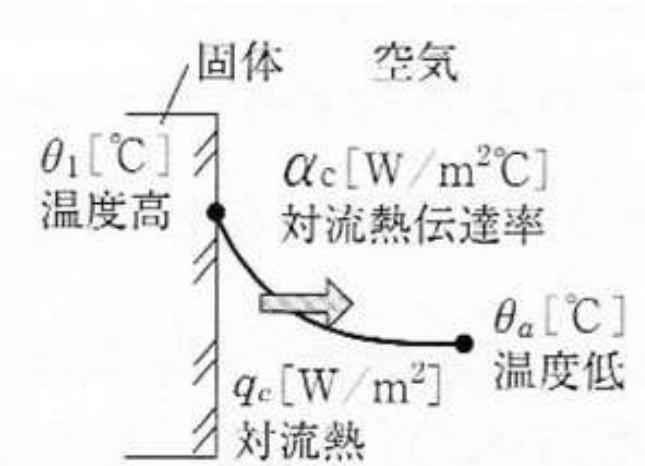
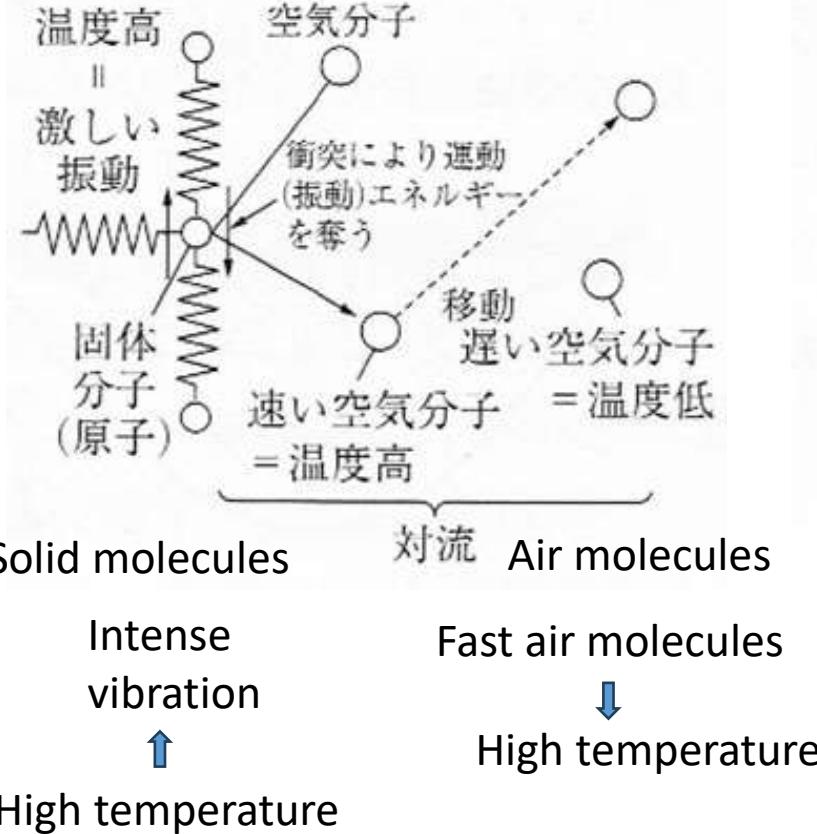


Heat transfer between solid and fluid (air)

固体と流体(空気)との間の熱移動

Principle 原理

Collisions deprive vibration energy of solids



Amount of heat transferred by convection
対流による熱の移動量

$$q_c = \alpha_c (\theta_1 - \theta_a)$$

α_c : Convection heat transfer coefficient

θ : Temperature

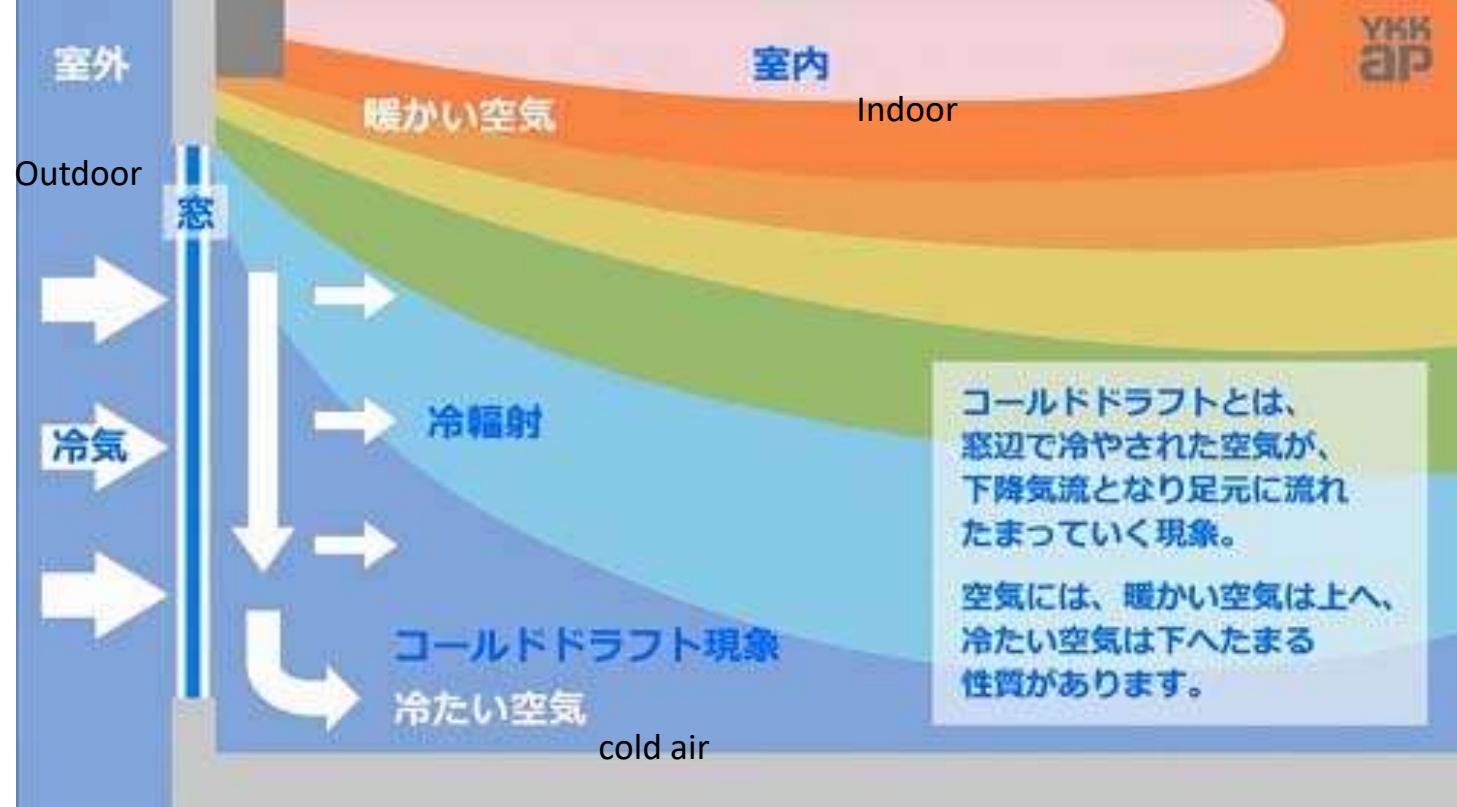
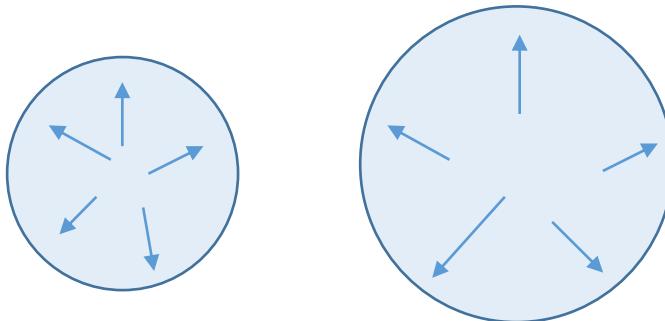
Cold draft

コールド・ドラフト

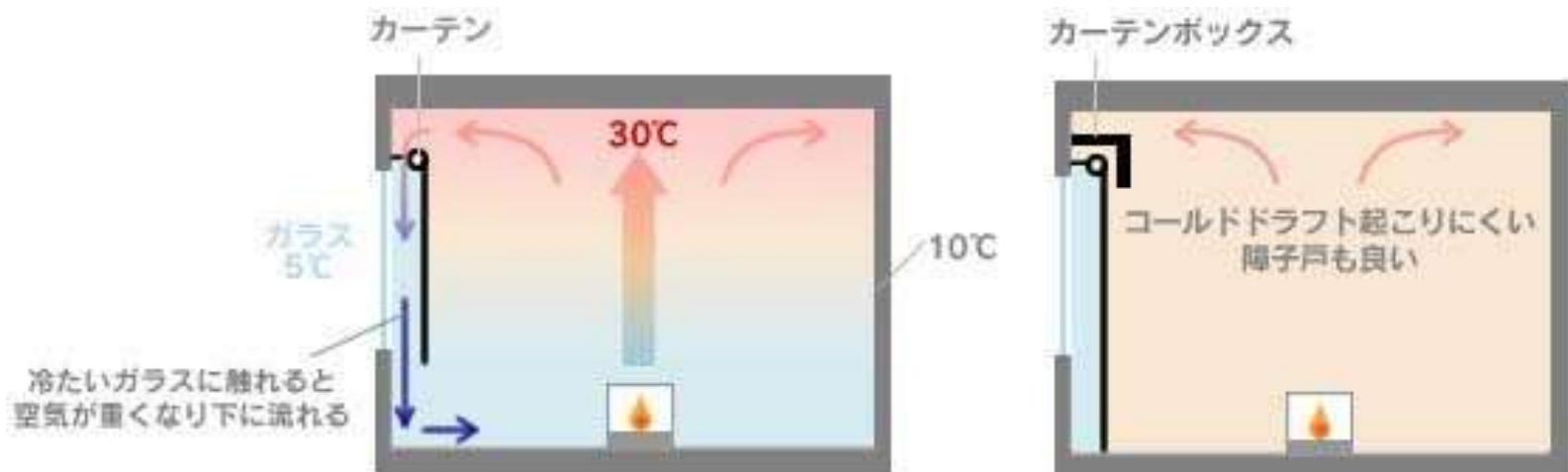
Cold draft is a phenomenon in which air cooled at the window during heating flows down to the floor as a downdraft.

Why does warm air become lighter?

暖かい空気が軽くなるのはなぜか？



YKKapのホームページより



Designs that are more likely and less likely to cause cold drafts

Ventilation and Draft

換気と通風

A house in Macau
マカオの住宅



Wind power ventilation
風力換気

Positive pressure pushes wind into the room
Negative pressure pulls wind out of the room

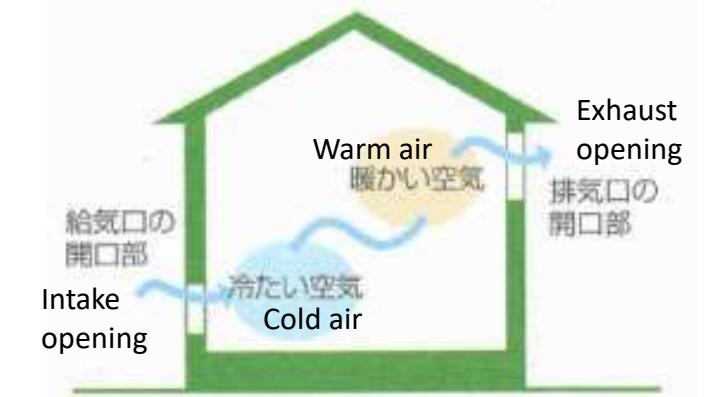




A house in Macau
マカオの住宅

Temperature difference ventilation
(gravity ventilation)

温度差換気（重力換気）

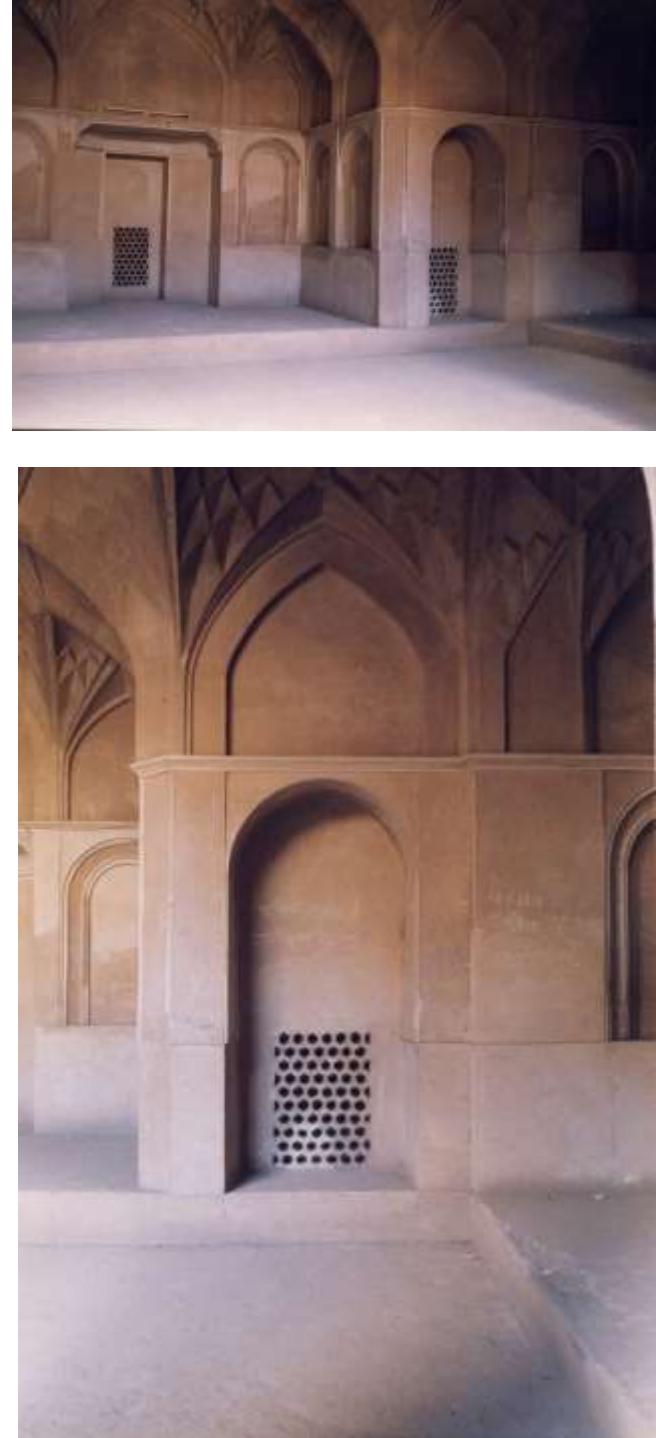
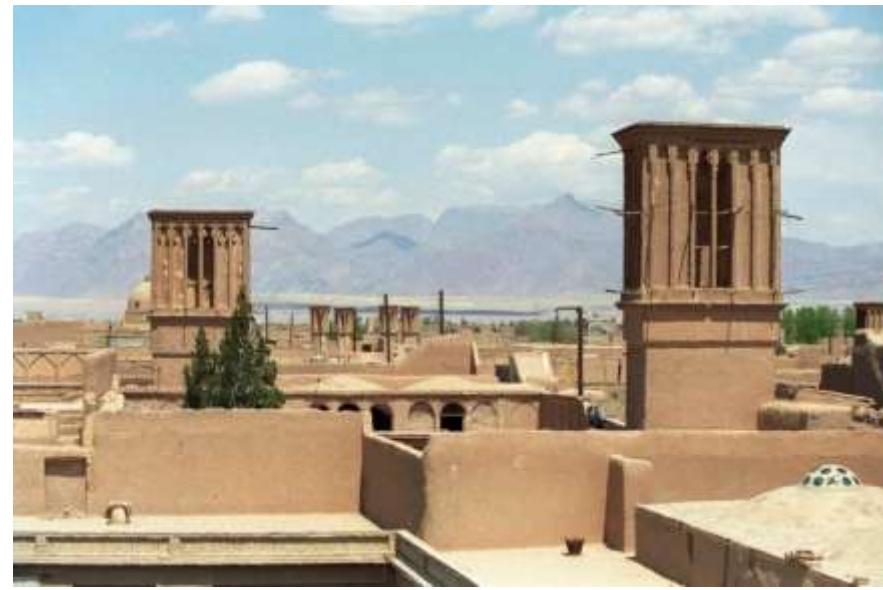


Wind catcher

ウインドキャチャー



Iran イランのバードギル



Ventilation design

通風のデザイン

Royal Palace of Jaipur, India
ジャイプール王宮、インド



Ventilation design

通風のデザイン



Textile Industry Hall (designed by Le Corbusier) Ahmedabad, India

織維業会館 (ル・コルビジェ設計)アーメダバード, インド

Ventilation design

換気のデザイン



Sankyo rice warehouse, Sakata City 山居倉庫、酒田市

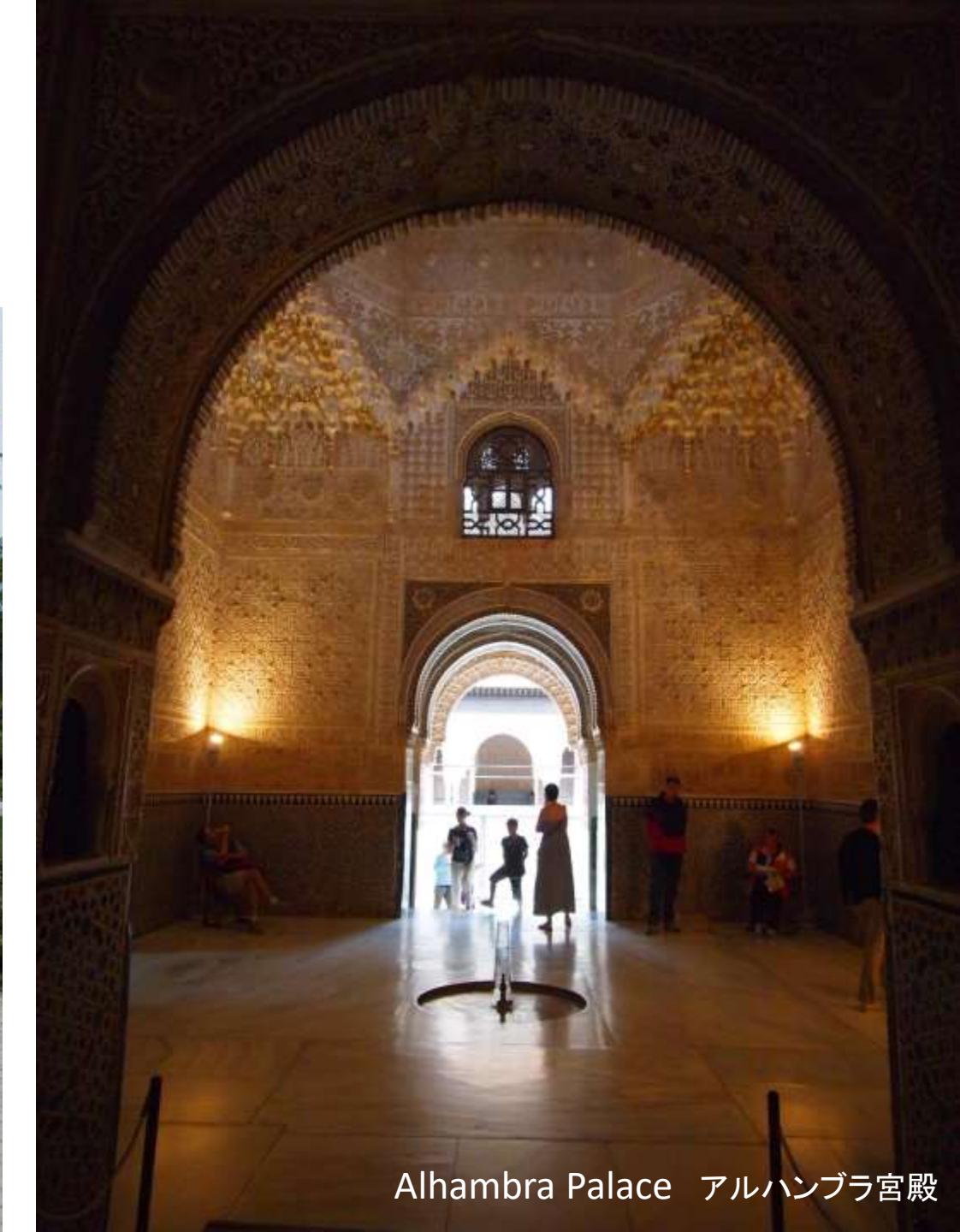


Use of water: Temperature control by transpiration

水の利用:蒸散による温度調整



Boston Greenway Park ボストングリーンウェイ公園



Alhambra Palace アルハンブラ宮殿

Use of water:

Temperature control by transpiration

水の利用: 蒸散による温度調整



Kawadoko (riverside terrace) at Kifune, Kyoto 貴船の川床(かわどこ)、京都

Use of water: Temperature control by transpiration

水の利用:蒸散による温度調整



Ueno Park 上野公園



Fallingwater (Kaufmann residence) F.L. Wright 落水莊



Stairs from the living room down to the river
リビングから川に降りる階段



出典:ヨドコウ迎賓館館長が行く アメリカ東部、F.L.ライト建築を巡る旅[7]
2017年12月1日 <https://www.yodoko-geihinkan.jp/2017/12/01/lib-40/>

Use of Water: Waterscapes in daily life

水の利用:生活のなかの水景

Gujo-Hachiman, Gifu Prefecture 郡上八幡, 岐阜県



Use of Water: Waterscapes in daily life

水の利用:生活のなかの水景

Indian stairwells インドの階段井戸

Chand Baoli, near Jaipur

チャンド・バオリ、ジャイプル近郊



Adaraj Vav, near Ahmedabad

アダラジ・ヴァヴ、アーメダバード近郊





City of Waterscape 水景の都市 Shaoxing 紹興



Grand House Shaoxing

(Da Yu Kai Yuan)

紹興市の
リゾートホテル
大禹開元



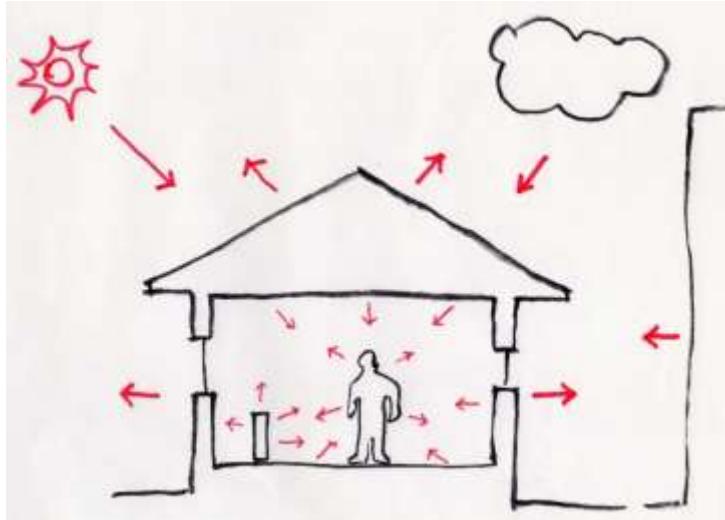


Hydrophilic Landscape (Portland)

親水ランドスケープ（ポートランド）

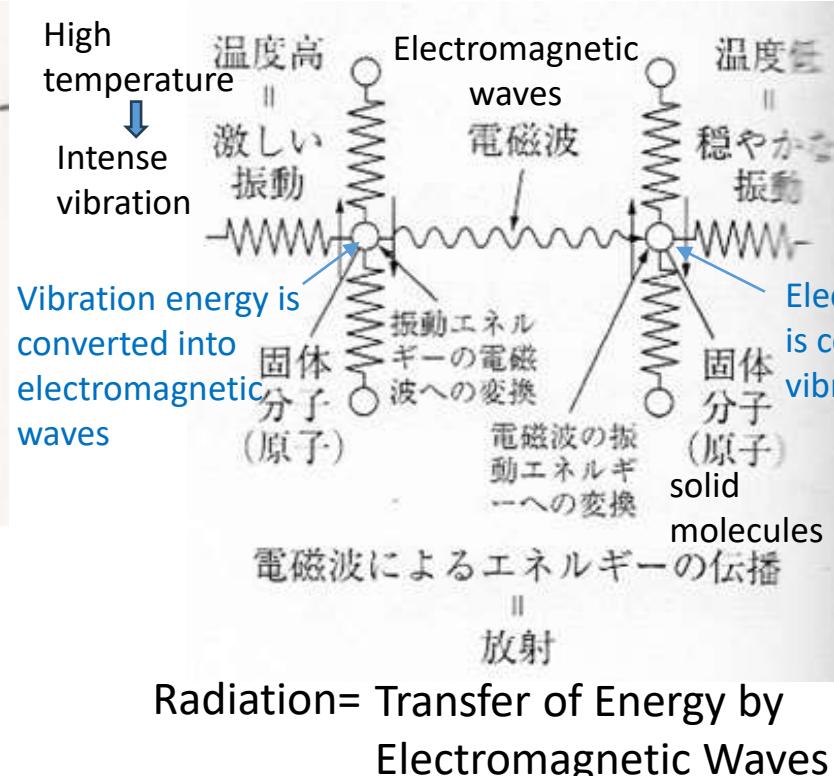
Heat transfer by radiation

放射による熱移動

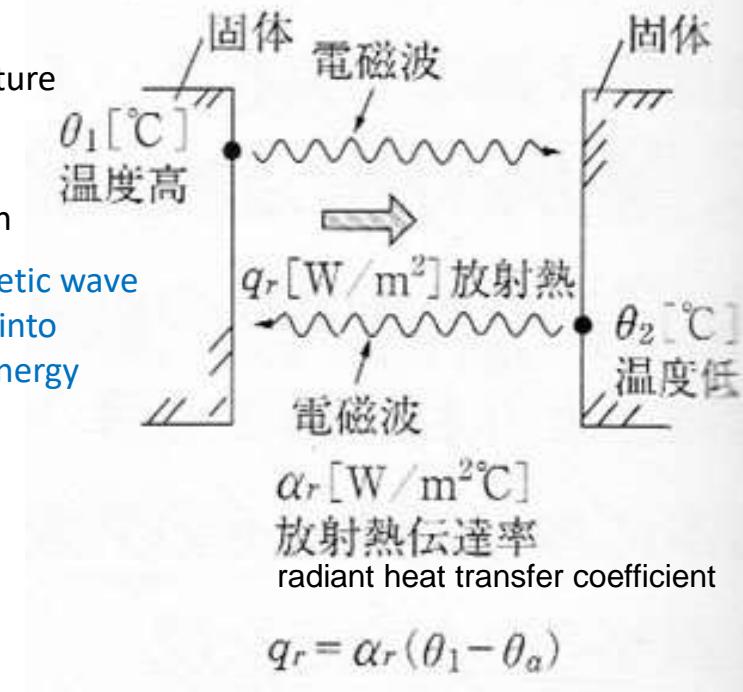


Heat flow caused by temperature differences between solid surfaces
固体表面間での温度差による熱流

Principle 原理



放射による熱の移動量



Stefan-Boltzmann's law: Electromagnetic waves with energy proportional to the fourth power of the absolute temperature of the environmental surface are emitted.

シュテファン-ボルツマンの法則: 環境構成面の絶対温度の4乗に比例したエネルギーの電磁波を放射

Operative temperature

作用温度(室内の体感温度)

Operative temperature : A sensory thermal index that synthesizes three factors: air temperature, air currents, and radiation. Almost the same as glove temperature.

作用温度: 気温、気流、放射の3要素を総合した体感温熱指標。

Mean Radiant Temperature (MRT) : Area average of surface temperature of ceiling, wall and floor

平均放射温度(MRT): 天井・壁・床の表面温度の面積平均

Sensible temperature (operative temperature in a room with calm airflow) = (room temperature + MRT)/2

体感温度(静穏な気流の室内での作用温度)=(室温+MRT)/2

Once the house is
cooled down

いったん冷やして
しまった家では…

体感温度
 $=17^{\circ}\text{C}$

$$(室温26^{\circ}\text{C}+\text{MRT } 8^{\circ}\text{C}) \div 2 = \text{体感温度 } 17^{\circ}\text{C}$$



温もりが保たれた
家では…

体感温度
 $=19^{\circ}\text{C}$

$$(室温18^{\circ}\text{C}+\text{MRT } 20^{\circ}\text{C}) \div 2 = \text{体感温度 } 20^{\circ}\text{C}$$

In a house where
warmth is kept

Heating by radiant heat

放射熱による暖房



Panel heater
パネルヒータ

Can cooling be provided by radiant heat?

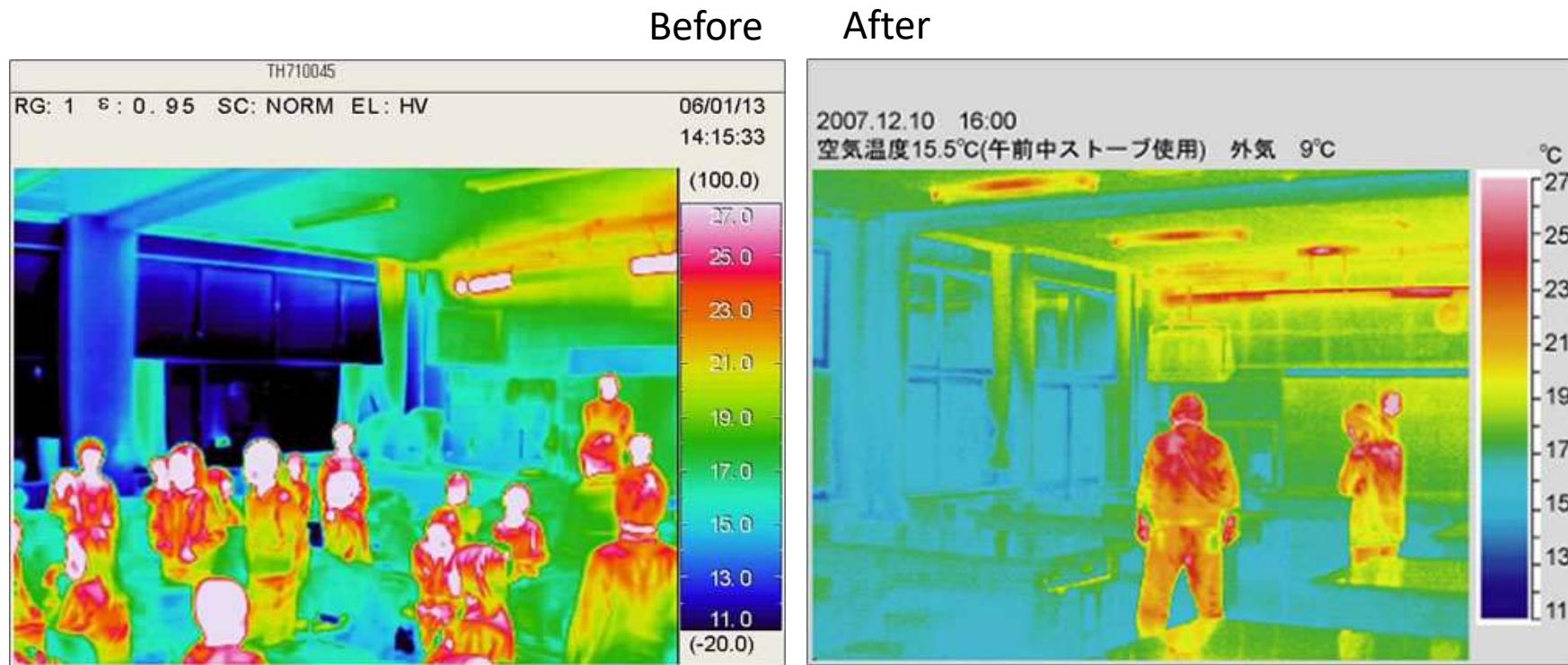
放射熱による冷房は可能か？



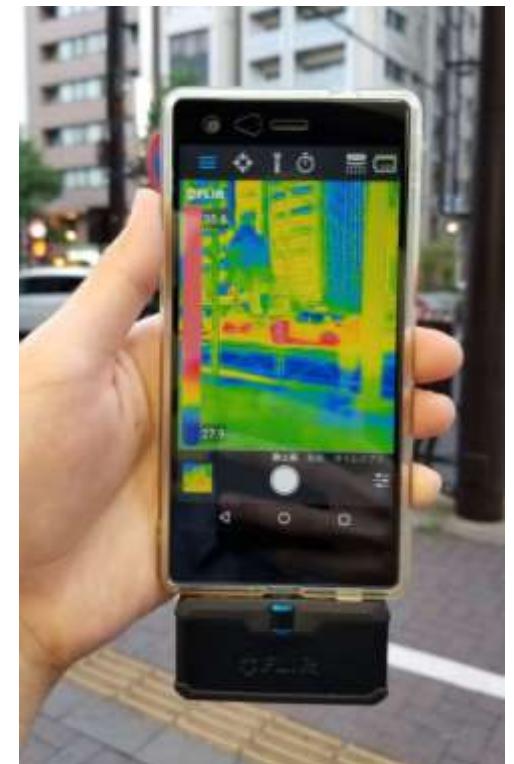
Floor heating
床暖房

Thermal image showing surface temperatures of environmental surfaces

環境構成面の表面温度を示す熱画像(サーモカメラ)



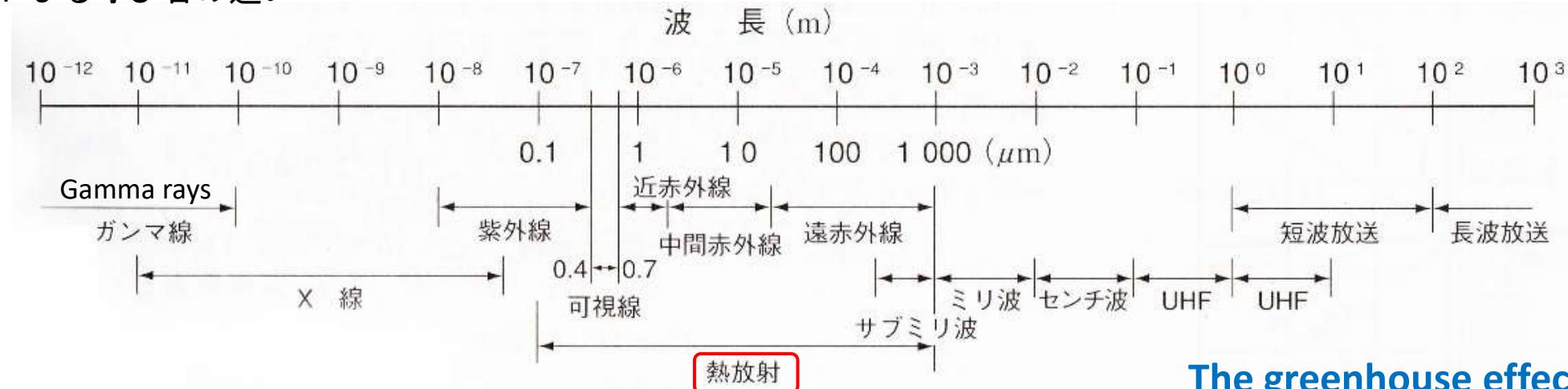
It can be seen that the human being is a heating element. At rest, radiation 60 W/hour, evaporation of water vapor (latent heat) about 40 W/hour
人間が発熱体であることが分かる。安静時で放射60W/時、水蒸気の蒸散(潜熱)40W/時程度



Simple thermo camera
簡易なサーモカメラ

Different names for different wavelengths of electromagnetic waves

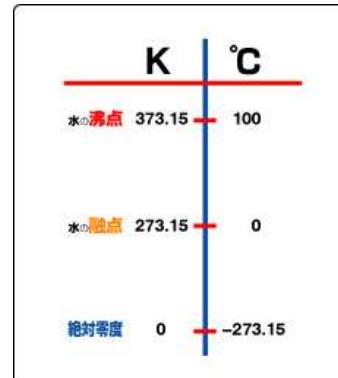
電磁波の波長による呼び名の違い



Why do greenhouses get warm?

Glass allows short wavelength electromagnetic waves from the solar surface (6000K) to pass through easily, but does not allow long wavelength electromagnetic waves from the terrestrial environment (300K) to pass through.

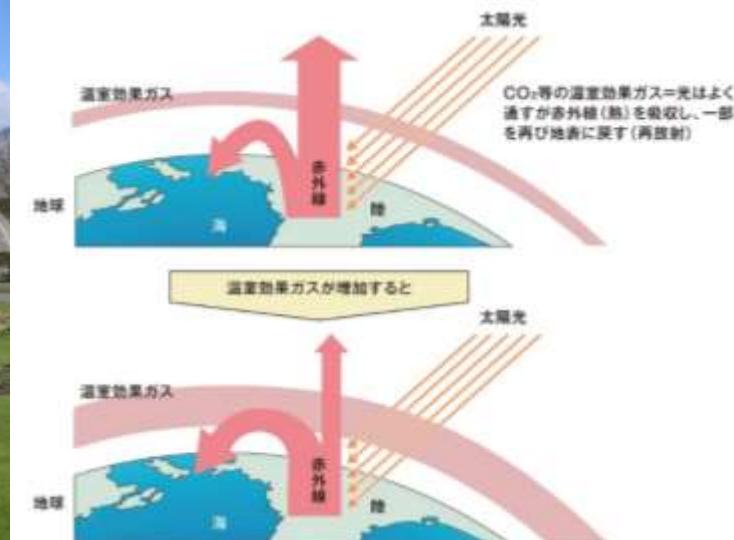
ガラスは太陽表面(6000K)からの短い波長の電磁波は通しやすいが、地上の環境(300K)からの長波長の電磁波は通しにくい。



温室はなぜ暖かくなる？



The greenhouse effect of CO₂, the cause of global warming, is based on the same principle
CO₂の温室効果も同じ原理



Shielding from solar radiation

日射の遮蔽

Chandigarh, India
チャンディガール、インド



Shielding from solar radiation

The tent is doubly effective
天幕は2重に有効

Ahmedabad, India
アーメダバード、インド



Regulating solar radiation

日射の調整

Brise-soleil ブリーズ・ソレイユ

Brise soleil, (French: "sun breaker"), is an architectural feature of a building that reduces heat gain within that building by deflecting sunlight.



Chandigarh Administration Building, 1958 (designed by Le Corbusier) チャンディガール行政庁舎、Chandigar , 1958(ル・コルビジェ設計)



Regulating solar radiation 日射の調整



Green curtains 緑のカーテン

Why are outside blinds more effective than inside blinds?

外ブラインドが内ブラインドより有効なわけは？

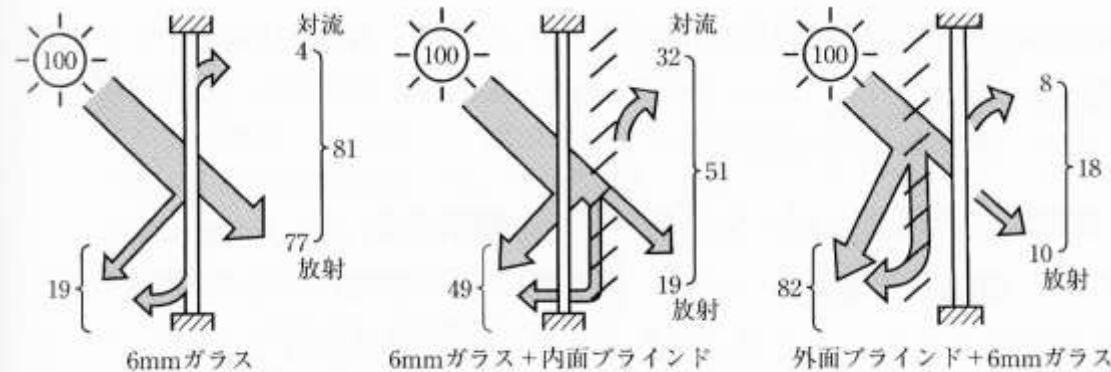


図 2.19 内ブラインドと外ブラインドの比較⁶⁾

Why are green curtains more effective than outside blinds?

外ブラインドより緑のカーテンが有効なわけは？

Regulation of solar radiation by pergola

パーゴラによる日射の調整

Nago City Hall, Okinawa, Japan

名護市庁舎、沖縄

Designed by Zo Sekkei Group 1981 象設計集団 1981



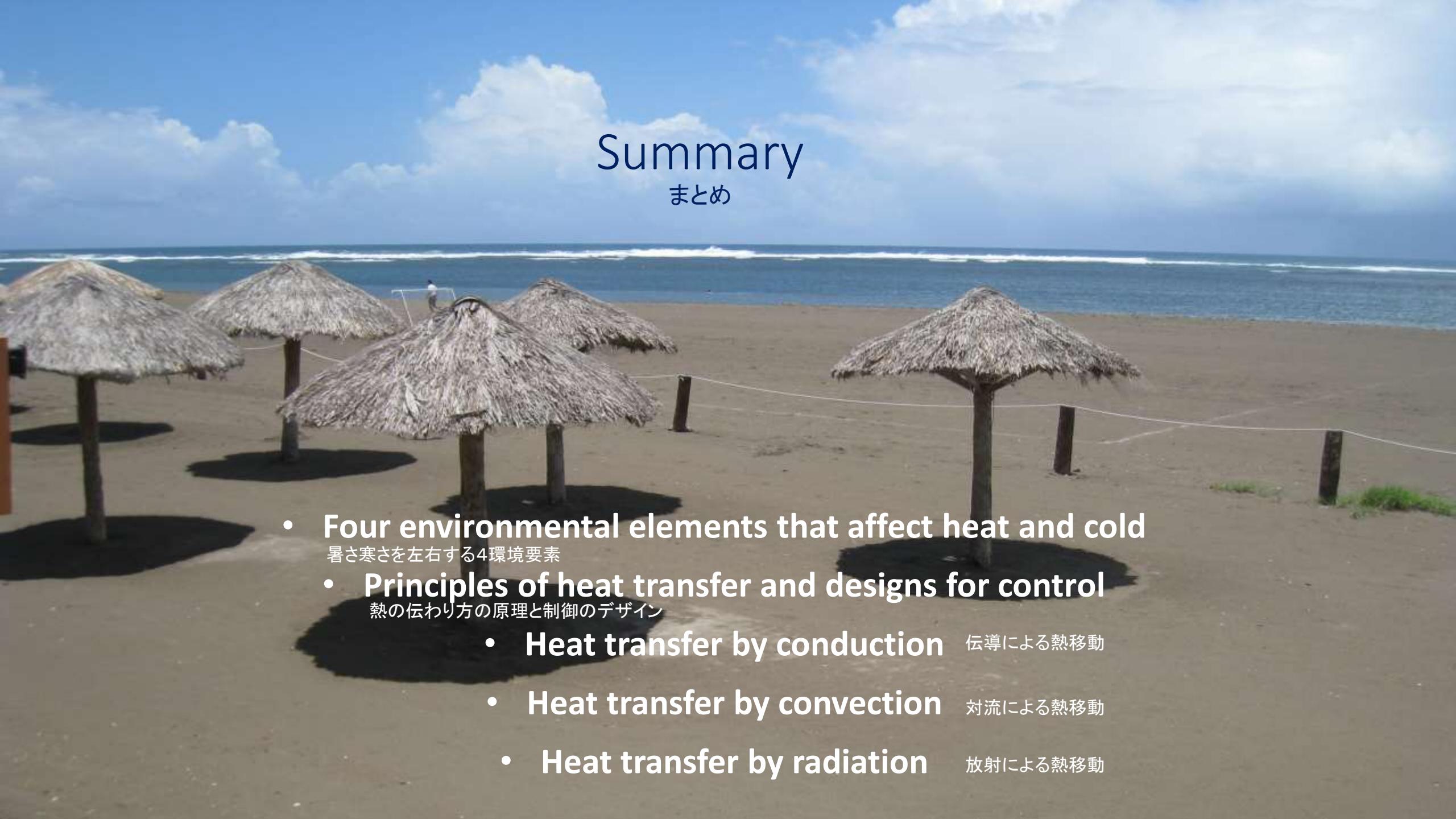
名護市庁舎1階平面図

「近代建築の楽しみ」のWebsiteより

Bougainvillea grows thickly on the north roof,
creating dense shade.

北側の屋根にはブーゲンビリアが生い茂って、濃い日陰を作っている。





Summary

まとめ

- **Four environmental elements that affect heat and cold**
暑さ寒さを左右する4環境要素
- **Principles of heat transfer and designs for control**
熱の伝わり方の原理と制御のデザイン
 - **Heat transfer by conduction** 伝導による熱移動
 - **Heat transfer by convection** 対流による熱移動
 - **Heat transfer by radiation** 放射による熱移動