

住宅空間における昼光環境の動的変動に関する研究 (2)

中村 洋

— 模型空間によるシミュレーション —

キーワード：1) 昼光, 2) 窓, 3) 住宅, 4) 居室, 5) 昼光環境, 6) 昼光照明計画, 7) 実測調査, 8) 模型実験, 9) 昼光照明, 10) 終日変動

1. 研究の目的

本報告は、すでに報告した実際の住宅空間の昼光環境の動的変動に関する実測調査研究^{文1), 文2)}に続くものであり、模型空間を作成し、それを住宅の居室空間に想定して試みた実験研究に関するものである。

本研究の動機や目的については、上記の報告で述べたが、言を改めその要旨を記す。

昼間の建築照明は昼光に依存するのが本来の姿である。また、近年、昼光を適切、有効に活用し、昼間に人工照明が消費する電力を節減することが強く要求されている。

さらに、建築空間の快適性の要求の高まりにとともに、光環境の快適性も重視されるようになってきている。

人工照明では、天井に照明器具を設置する。光は上方から下方に流れる。照明器具の増減によって、任意の位置に適正な照度を得ることができる。照度の均斉度など、一般に照明の質と呼ばれる光環境要素の制御も容易である。

昼光照明は、一般に側窓採光によっている。昼光は側面から室内に入射する。光は斜め上方から、あるいは、側方から、ときには、下方から流れる。側窓近くの照度は高く、室奥の照度は低い。照度の均斉度の制御は極めて困難である。

加えて、昼光は天候や天空の状態、季節、時刻の影響を著しく受ける。常時、極端に変動するとしても過言でない。昼光の変動に伴い、室内の昼光環境も著しく変動する。これは室内の光環境の実態の解明を困難としている大きな要因であり、また、現在、昼光照明時の光環境要素の制御方法を欠く所以でもある。

昼光照明の光源であり、昼光環境に決定的な影響を与える昼光の動態に関する研究は極めて少ない。エネルギーの節減の要求に呼応し、昼光の有効利用を計るために、国際照明委員会 (CIE) は、1983年から、これに関する種々の実測資料の収集方法の検討を始め、1991年頃から大規模な測定を開始している。現在、世界各地に約50か所 (うち、本邦は13か所) の測定所が稼働を始めている (筆者の一人、中村はこのための技術委員会 TC307の委員を務め、これを継承した TC325の委員長を、古賀は幹事を務めている)^{文3), 文4)}。

建築の内部空間の昼光環境の実態の調査は、断片的に、また、瞬時的に試みられてきたに過ぎない。それも床面や机上面での水平面照度だけである。適切な測定機器を欠いたことにもよるが、照明の質に密接に係る空間照度 (空間における鉛直面照度、スカラー照度、ベクトル照度、円筒面照度など) の調査は全く行われていないとしても過言ではない。したがって、資料は皆無で、その実態は全く不明である。

また、建築の内部空間は長期間にわたり、終日使用するものである。変動する昼光環境の断片的な調査は必ずしも有用でない。季節や天候を考慮した終日の調査も必須である。

快適で適切な昼光環境の構成のために、照明の量としての照度に加えて、照明の質と呼ばれる種々の光環境要素に関する実測的で有用な指針を確立しなければならない。それには、まず、昼光空間の実態の調査を積み重ね、それを把握しなければならない。

本研究は、資料の累積の一環として、資料も知識も皆無である昼光環境の終日の実態調査を行う。そのために、本研究に先立ち筆者らはかつて開発した測定機器^{文5), 文6)}を改良し、準備した。

次いで、取得した資料を解析し建築空間、特に、住宅空間における昼光の実態の把握を試みる。

さらに、本報告に直接関わる研究として、模型を作成し、実験を試み、上記の調査結果の検証を試みる。さらに、実験結果の検討により、昼光環境構成のための有用な指針を^{いさ}些かでも示すことを志している。

2. 実際の住宅調査結果との照合

本研究に先立つ実際の住宅空間の昼光環境の調査の結果得られた結論を要約して以下に示す。

- 1) 室の様式にかかわらず、同一日の同一位置の水平面照度とベクトル照度、スカラー照度、円筒面照度など、空間照度の終日の変動の様相はほぼ類似している。なお、これらの類似した終日の変動は天空状態 (晴天空、中間天空、曇天空) の影響を受ける。
- 2) 床面における水平面照度は、位置によって照度水

準は異なる。しかし、その終日の変動の様相は、位置によってほとんど変わらない。

- 3) したがって、1) により空間照度も位置によって照度水準は異なるが、終日の変動の様相は、位置によってほとんど変わらない。
- 4) 高い位置の水平面照度は、床面照度より照度水準は低い。また、高い位置ほど、水平面照度の終日の変動は安定する。
- 5) ベクトル照度の高度は、天候状態及び室の様式に関係なく、終日の変動は安定している。しかし、その値はかなり低い。
- 6) ベクトル照度の高度は、室内の仕上げ面の反射率の影響を受ける。
- 7) 和風の室では、ベクトル照度の高度がしばしば負になる。すなわち、下方からの反射光が優越する。
- 8) ベクトル/スカラー比は、天空状態にかかわらず、終日あまり変動しない。片側採光に依存する室内及び、開口部付近のベクトル/スカラー比は終日高い。
- 9) 開口部に近いほど、ベクトル/スカラー比は大きい。
- 10) 和室の障子は、室内昼光環境の変動の様相には、大きな影響は与えない。

実際の住宅の昼光環境の調査による上記と今回の模型実験の結果は、種々の条件が完全に一致してはいないので、端的に照合と比較はできない。

しかし、今回の結果は上記を肯定するものであり、背反する結果はない。

なお、和室に関する事項は照合していない。

3. 研究方法

実際の住宅の昼光環境の調査に続いて、主要な室内光環境の構成要素である天井、壁、床の反射率を制御できる模型を用いる。なお、家具や調度類はないものとする。模型は、建築物の屋上の上の実際の昼光下に暴露し、終日連続測定を試みる。

本研究では、空間上の上向きと下向き水平面照度、4方向の鉛直面照度、スカラー照度、ベクトル照度、円筒面照度を空間照度と呼ぶ。

建築空間、特に、住宅空間では、居室者の行動や視線が固定されていない。視対象も平面的なものだけでなく、立体的なものもある。このような空間の光環境の快適性は、水平面照度だけでなく鉛直面を含む、あらゆる面の明るさや光の流れ方の影響を受ける。すなわち、室内の光環境に関する検討は、照明の量と呼ばれる照度の平面的検討だけでなく、照明の質に関わる空間的検討も重要である。したがって、今回は、昼光照明環境における空間照度の検討を主として試みる。

なお、床面の水平面照度の測定も付加している。

4. 研究計画

4.1 模型実験

使用した模型の概要を図4-1と表4-1に示す。測定機器の設置上、若干広めの居室(25畳程度)を考えている。縮尺は1/5を想定している。

木枠にベニヤを張った外郭に、内部仕上げは着脱と交換が可能な紙製のボード(ミューズコットン紙)で構成した。

採光窓には、天井面から若干下がり、床面から1m程度の腰壁があり、室幅の全面が開いた側窓を想定した。

室内の仕上げ面の反射率は80%、50%、20%、5%を想定し、これに近いボードを選定した。実際の反射率と想定値の対応は表4-1に示す。

上記により室内の反射率を以下に設定した。

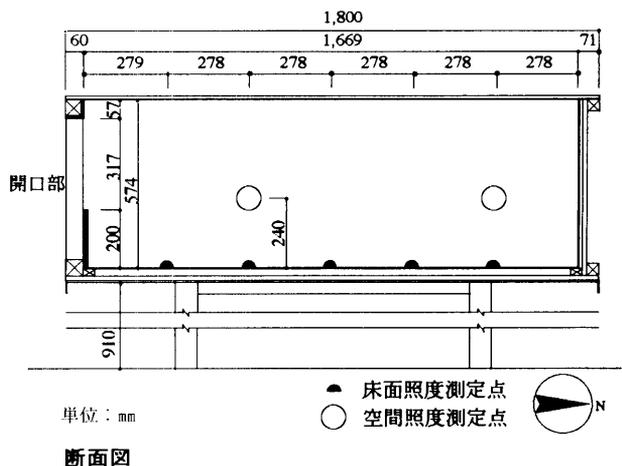
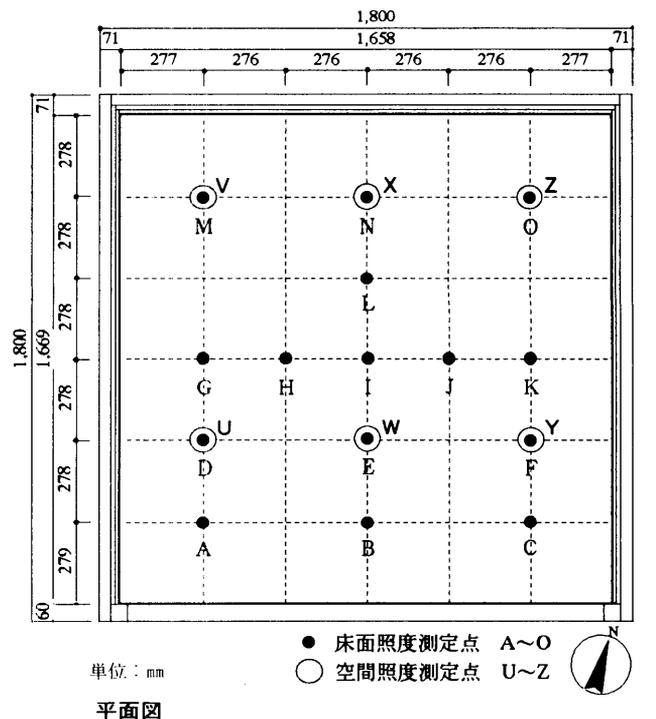


図4-1 模型室の概要と測定位置

- パターン 1 : 天井80%, 壁50%, 床20%
- パターン 2 : 天井80%, 壁50%, 床 5%
- パターン 3 : 天井 5%, 壁 5%, 床 5%
- パターン 4 : 天井80%, 壁80%, 床80%
- パターン 5 : 天井80%, 壁80%, 床20%
- パターン 6 : 天井80%, 壁80%, 床 5%

以後、それぞれのパターンを (80, 50, 20), (80, 50, 5), (5, 5, 5), (80, 80, 80), (80, 80, 20), (80, 80, 5) のように記す。

また、庇は取り付けなかった。このため、晴天時には直射日光が射入することがある。

実験場所は九州大学工学部建築学科旧棟の屋上とし、模型を1994年秋より1995年春までは設置する。

空間照度は六面照度計⁽⁵⁾で測定する。床面照度は多点照度計⁽⁶⁾で測定する。六面照度計を空間の一点に設置すれば、その点での上下水平面照度と4方向の鉛直面照度を同時測定できる。これらの測定機器は、いずれも筆者らが開発し、さらに、改良したものである。

測定位置は図4-1に示す。

測定は、降雨や強風のない穏やかな日に、午前9時から午後5時まで、5分間隔で終日行う。なお、途中で障害が出来た日の取得データは総て無効とする。空間照度の測定高さは、床上120cmを想定した。

4.2 屋外の測定

模型室内の測定と同時に、模型設置位置の近傍で全天空照度とグローバル照度を手動で測定する。

4.3 解析

取得した6面照度の値から、スカラー照度、ベクトル照度、円筒面照度の値、あるいは、近似値を求める。ま

た、ベクトル/スカラー比を計算する。

各室内の反射率の構成、天候状態、時刻などを考慮して、上記の取得データ、および、計算データを主として定性的に解析する。

照明の質の評価方法は確立されていない。古いものであるが、⁽⁷⁾に C. Cuttle らによるモデリングの研究⁽⁷⁾が世界的に知られているに過ぎない。そのほか、ここで筆者らが採用できると考えるのは、シルエット現象と窓際のモデリング⁽⁸⁾に関する資料である。これらは、主として、本邦で研究されたものである。

これらに関し、室内仕上げの反射率の構成、室内の位置などによる検討を試みる。

5. 実験の概要

実験は1994年10月初旬より11月下旬、1995年2月初旬より3月中旬に試みた。終日の天候状態が変化したり、測定上の誤謬⁽⁹⁾など種々の障害により、終日のデータとして採用できない日が多く、データとして取り上げたのは、合計21日分である。

なお、模型は南面させる予定であった。後日、再確認した結果、15°程度東に向いていた。設置上の誤りによると考える。

実験地点の周辺には若干の建築物がある。これらによって遮られる天空部分は地上より最大約5°程度である。したがって、ほとんど障害とならなかったと考えた。

空間照度の測定点は、最初は4か所(W~Z)、後に6か所(U~Z)に増やした。

実験と同時に天候状態や天空状態も記録した。その例を表5-1に示す。

実験の詳細をまとめて表5-2に示す。

表5-1 天空及び天候状態

月日	パターン (反射率:天井, 壁, 床)	天候状況
10月13日	80, 50, 20 (79.9, 51.4, 23.8)	14時15分から14時40分までと15時25分から15時35分頃までは、雲量1、それ以外は雲量0の快晴。
10月14日	80, 50, 5 (79.9, 51.4, 5.0)	測定開始時から13時25分頃まで雲量0~3で晴、以降雲量0の快晴。
10月17日	80, 50, 5 (79.9, 51.4, 5.0)	測定開始時から14時50分まで雲量10の曇。以降、測定終了時まで雲量は10から6まで次第に減少。時折薄い直射光が射す。
10月28日	80, 50, 20 (79.9, 51.4, 23.8)	測定開始時は雲量10の曇。雲は次第に減り9時45分頃には雲量3となり薄い直射日光が射す。11時55分から13時50分頃雲量3~9で晴れ時々曇。以降は雲量7~10の曇。

表4-1 模型室の概要

室寸法	幅×奥行 1,658×1,669mm 天井高 572mm (9×9×3mの室内空間の1/5縮尺模型)				
開口部	南面 1,610×317mm (開口部の腰壁の高さ 120mm)				
天井, 壁, 床	実験に応じて着脱交換可能。(ボルトで固定) ベニア板に、反射率の異なるミューズコットン紙を貼付。				
反射率	想定値	5	20	50	80
	実際値	5.0	23.8	51.4	79.9
測定機器の固定	六面照度計: 測定高さにあわせ簡易スタンドを制作、下部を床面にボルトで固定。 多点照度計: センサーを固定用の補助プレートを使い、床に固定。				
入射日光の状況	昼光は前面開口部より入射。 直射日光の出現時は、模型室内に終日直射日光が入射する。これによる開口部の測定点の照度に与える影響が大きい。				

表5-2 測定の概要

測定対象	模型室：縮尺1/5 九州大学工学部建築学科屋上に設置		
測定期間	1次：1994年10月13日～11月11日のうち15日間 2次：1995年2月22日～3月13日のうち6日間 計21日間		
測定時間	09：00AM～05：00PM（5分間隔97回）		
測定項目	模型室内照度 1次：床面照度 15点（A～O） 空間照度 4点（W～Z） 2次：床面照度 15点（A～O） 空間照度 6点（U～Z） 屋外照度（全天空照度，グローバル照度），雲量		
測定条件	窓面：南東向き（南から15°程度東向き） 内部反射率の構成：下記の6パターン		
模型室パターン	反射率（%） 天井，壁，床	測定日	天候状況
1	80, 50, 20 (79.9, 51.4, 23.8)	10月13日 10月28日 11月7日 2月23日 2月22日	晴 中間 中間 晴 中間
2	80, 50, 5 (79.9, 51.4, 5.0)	10月14日 10月17日	晴 曇
3	5, 5, 5 (5.0, 5.0, 5.0)	10月18日 11月11日 3月8日 3月6日 3月13日	晴 中間 晴 中間 中間
4	80, 80, 80 (79.9, 79.9, 79.9)	10月25日 10月24日 11月10日 3月2日	晴 中間 中間 中間
5	80, 80, 20 (79.9, 79.9, 23.8)	11月8日 10月26日 10月31日 11月2日	晴 中間 中間 中間
6	80, 80, 5 (79.9, 79.9, 5.0)	11月9日	中間

6. 取得データの検討

取得データは，住宅空間における実測調査時と同様，それぞれの検討項目に応じて，表やグラフにまとめ，種々の検討を行った。

ここでは，主として，六面照度計による照度や，円筒面照度，スカラー照度，ベクトル照度，ベクトル/スカラー比，ベクトル照度の高度の終日変動についての検討の結果を示す。

6.1 六面照度計による照度の変動

片側採光に依存する室内では，室内の照度に影響を与える採光開口が一方の側面のみにある。したがって，室内のある点における照度の変動は，受照面の向きは異なっても片側の採光開口より入射する昼光の変動に影響を受けると考える。すなわち，六面照度計による照度は，すべて終日類似する変動様相を示すと考える。また，各々の照度の比は，終日あまり変わらない。すなわち，六面照度計による照度の比は，ほぼ一定であると考えられる。

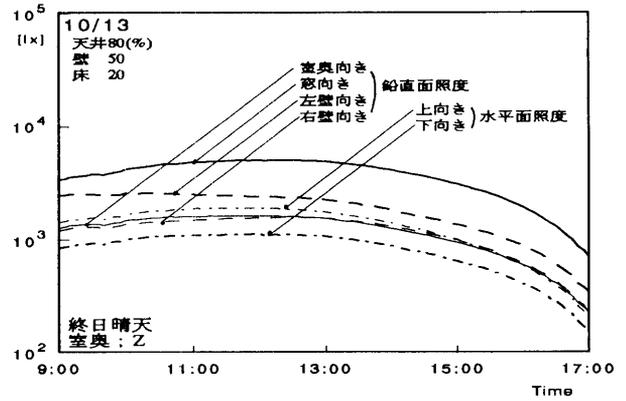


図6-1 六面照度の終日変動

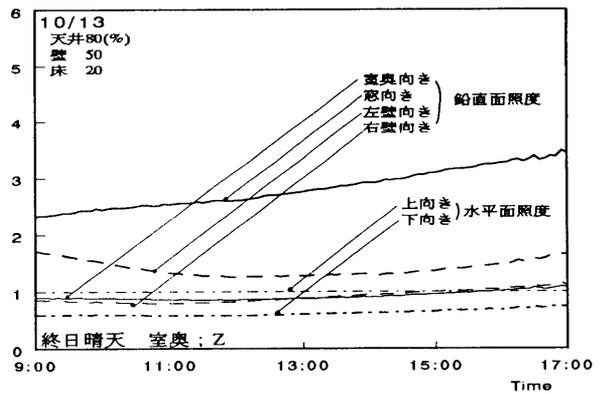


図6-2 六面照度比の終日変動

例として，図6-1に，室内の同一測定点における六面照度計による照度の終日の変動を示す。また，図6-2には，図6-1に示す上向き水平面照度に対する，他の六面照度計による照度の比の終日変動を示す。測定日は，終日晴天の日の10月13日である。室内の反射率は，(80, 50, 20)の場合である。

片側採光に依存する室内では，採光窓方向の鉛直面照度が，他方向の照度よりかなり大きいと考える。すなわち，採光窓から強い方向性の光が流れる。

室内の反射率が大きくなると，採光窓方向の鉛直面照度の他の六面照度計の照度に対する比が小さくなる。上向き水平面照度に対する，他の照度の比もそれぞれ上向き水平面照度との差が小さくなる。すなわち，照度の方向性が弱まり，拡散性が増える。

窓際では，床面の反射率が高くなると，下向き水平面照度の比がかなり大きくなる。すなわち，床からの上向き光束が急増することを示す。また，床面の反射率が高い場合は，窓際の下向き水平面照度の変動も大きい。

室内の反射率が異なる場合，終日晴天の日の窓際（W点）と室奥（Z点）の同一測定点における，水平面照度に対する六面照度，それぞれの照度の比の終日の平均と標準偏差をそれぞれ，表6-1と表6-2に示す。室内の反射率の構成は，(80, 80, 20)，(80, 50, 20)，(80, 50, 5)の場合である。

表 6-1 6面照度の比の終日の平均〔-〕

反射率 (%) 天井, 壁, 床		室奥向 き鉛直 面照度	右壁向 き鉛直 面照度	上向き 水平面 照度	窓向き 鉛直面 照度	左壁向 き鉛直 面照度	下向き 水平面 照度
80,80,20 (11月8日)	窓際	0.52	1.49	1.00	2.36	1.34	1.48
	室奥	1.02	1.02	1.00	2.02	1.13	0.56
80,50,20 (10月13日)	窓際	0.37	1.34	1.00	3.24	1.35	1.15
	室奥	0.91	0.91	1.00	2.81	1.40	0.62
80,50,3 (10月14日)	窓際	0.23	1.17	1.00	4.21	1.50	0.37
	室奥	1.16	1.14	1.00	4.27	1.62	0.45

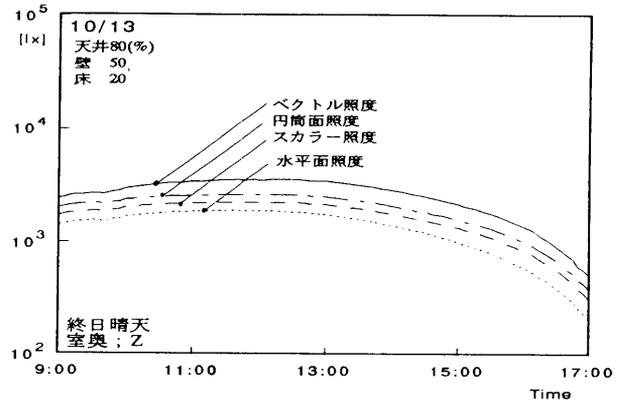


図 6-3 空間照度の終日変動

表 6-2 6面照度の比の終日の標準偏差〔-〕

反射率 (%) 天井, 壁, 床		室奥向 き鉛直 面照度	右壁向 き鉛直 面照度	上向き 水平面 照度	窓向き 鉛直面 照度	左壁向 き鉛直 面照度	下向き 水平面 照度
80,80,20 (11月8日)	窓際	0.10	0.32	0.00	0.41	0.21	0.57
	室奥	0.10	0.11	0.00	0.30	0.16	0.05
80,50,20 (10月13日)	窓際	0.02	0.19	0.00	0.36	0.15	0.43
	室奥	0.07	0.10	0.00	0.33	0.13	0.05
80,50,3 (10月14日)	窓際	0.02	0.19	0.00	0.20	0.23	0.13
	室奥	0.03	0.10	0.00	0.22	0.09	0.02

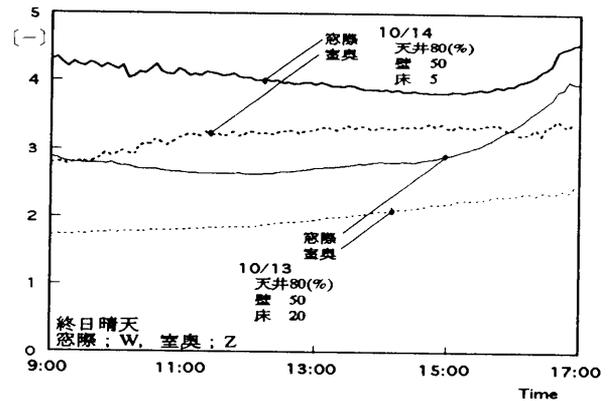


図 6-4 ベクトル照度/水平面照度比の終日変動

6.2 ベクトル照度, スカラー照度, 円筒面照度の変動

前節で述べたように、片側採光の同一測定点における六面照度計による照度の終日の変動の様相はほぼ同じである。したがって、水平面照度とともに、円筒面照度、スカラー照度、ベクトル照度の変動は終日類似すると考える。これらの照度の比も、終日ほぼ一定と考える。このような、ベクトル照度やスカラー照度及び、円筒面照度の、水平面照度との変動の類似性は、前回の住宅空間における実測調査による検討の結果と同様である。

図 6-3 に、終日晴天の日の、同一位置における円筒面照度、スカラー照度、ベクトル照度の終日変動の例を示す。さらに、同一位置の水平面照度(上向き)の終日変動を同時に示す。反射率の構成は(80, 80, 20)の場合である。測定位置は室奥(Z点)である。

照明の量だけを表す水平面照度やスカラー照度、円筒面照度と異なって、ベクトル照度は光の流れの強さと向きを表す。したがって、ベクトル照度は、周辺の反射面の反射率の違いによる各反射面からの反射成分の強さの相違に影響を受けると考える。

ベクトル照度の上向き水平面照度に対する比は、室内の反射率の構成の違いによって差が大きい。床の反射率の高い場合は、室奥より窓際でのベクトル照度の上向き水平面照度に対する比の終日の変動の幅が大きい。これは、窓際では、室奥より床面からの反射成分が大きい

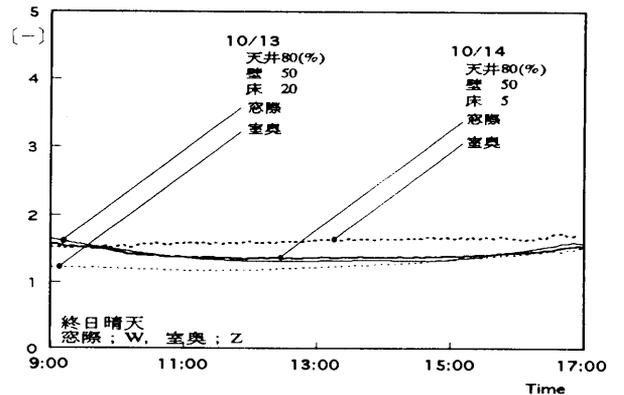


図 6-5 スカラー照度/水平面照度比の終日変動

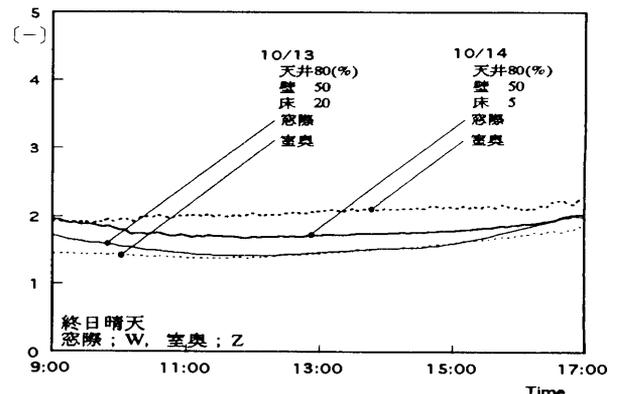


図 6-6 円筒面照度/水平面照度比の終日変動

めと考える。

スカラー照度や円筒面照度の上向き水平面照度に対する比の値は、位置によって、また、室内の反射率によって異なる。しかし、同一位置のスカラー照度や円筒面照度の上向き水平面照度に対する比は、終日ほぼ一定である。

以上により、片側採光に依存する室内で、開口部際のように直射日光による反射光が強い位置では、ベクトル照度は、水平面照度や円筒面照度、スカラー照度に比して変動が大きいと考える。しかし、直射日光による反射光の影響が少ない位置のベクトル照度、スカラー照度、円筒面照度の上向き水平面照度に対する比は、天空及び天候状態にかかわらず、ほぼ一定であると考えられる。なお、それぞれの照度の比の値は、室内の仕上げ面の反射率と位置によって異なる。

例として、室内の反射率の構成（80, 50, 20）と（80, 50, 5）の窓際と室奥の同一測定点における、ベクトル照度、スカラー照度、円筒面照度、それぞれの上向き水平面照度に対する比の終日の変動を図6-4、図6-5、図6-6に示す。

6.3 ベクトル/スカラー比の変動

ベクトル/スカラー比は、室の内部の反射率にかかわらず、窓際より室奥の方が小さい。室奥のベクトル/スカラー比の終日の変動はあまり変わらない。すなわち、室奥の終日のベクトル/スカラー比はほぼ一定である。

床面の反射率が高い場合は、床面の反射率が低いときより室内の平均反射率が高い。室内の平均反射率が高い場合は、室内の光の拡散性分が高くなる。したがって、室内の平均反射率が高いときは、平均反射率が低いときより、その位置にかかわらず、ベクトル/スカラー比が小さいと考える。

床面の反射率が高い場合の窓際のベクトル/スカラー比は、終日の変動の幅が比較的大きい。前節で述べたように、床面の反射率の高い場合のベクトル照度は、他の空間照度に比してその変動が大きい。したがって、ベクトル/スカラー比の変動も大きくなると考える。

図6-7に終日晴天の日の、（80, 50, 20）と（80, 50, 5）のベクトル/スカラー比の終日の変動の例を示す。測定日は、10月13日（80, 50, 20）と10月14日（80, 50, 5）である。なお、図には、窓際（W）と室奥（Z）の場合の例を同時に示す。

6.4 ベクトル照度の高度の変動

床面の反射率が高いときの窓際のベクトル照度の高度は、終日の変動の幅が大きい。特に、直射日光が入射する時は、ベクトル照度の高度がしばしば負となる。しかし、窓際のベクトル照度に比して、室奥のベクトル照度

の高度は非常に安定している。床面の反射率が低い場合は、窓際と室奥ともに、ベクトル照度の高度が終日安定している。

床面の反射率は、照度の上向き間接成分に影響を与える。すなわち、床面の反射率が大きいほど、照度の上向き間接成分が大きくなる。特に、窓際では室内に入射する直射日光が床面に直接当たる。これによる窓際での照度の上向き間接成分は著しく大きくなる。

室奥の方は、直射日光が床面に終日直接当たらない。したがって、室奥のベクトル照度の高度は、終日その変動の幅が小さいと考える。

以上のように、床面の反射率は、ベクトル照度の高度に与える影響が大きいと考える。直射日光が入射する時にはこれによる間接成分が著しく増加し、ベクトル照度の変動にも与える影響が大きいと考える。

したがって、直射日光が床面に直接当たる窓際ではベクトル照度の終日の変動が激しい。また、床面の反射率が高いほど、その影響は大きい。

床面の反射率が低い場合、また、窓際を除いて室奥では、直射日光による反射光の影響が小さい。したがって、床面の反射率が低い場合は、窓際においても、ベクトル照度の高度の変動は終日安定すると考える。

図6-8に、終日晴天の日の（80, 50, 20）と（80, 50, 5）の、窓際と室奥におけるベクトル照度の高度の

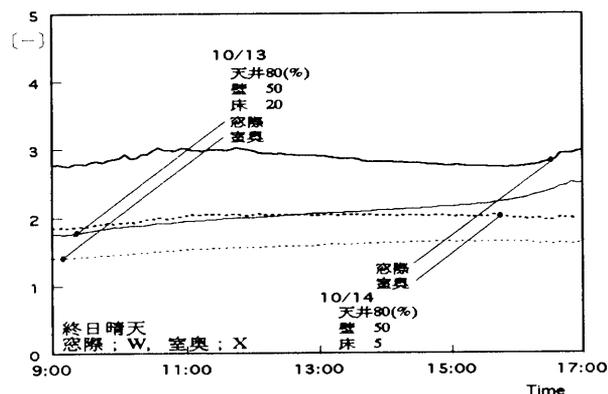


図6-7 ベクトル/スカラー比の終日変動

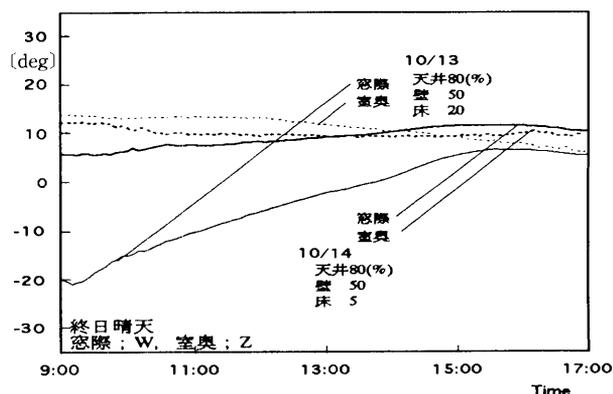


図6-8 ベクトル照度の高度の終日変動

終日変動の例を示す。

7. 照明の質の検討

7.1 モデリング

C.Cuttleらは、ベクトル照度の値のスカラ照度に対する比、すなわち、ベクトル/スカラ比とベクトル照度の高度で視対象の立体感の見え方が評価できるとした。多くの実験に基づき、その評価を Too Harsh (どきつい)、Preferred (好ましい)、Too Soft (平板的) とこれらの中間の Acceptable (許容域) の5段階に分け、その範囲を図で示した。これをモデリングの評価という⁷⁾。

前述のとおり、6面の照度により、ベクトル照度の値とその高度は計算で求められる。また、スカラ照度は近似値が求められる。これにより、検討点のベクトル/スカラ比を求める。また、ベクトル/スカラ比もその高度も、終日の変動は小さい。

表7-1に、窓際の2点(WとY)と室内の2点(XとZ)のベクトル/スカラ比の終日の平均値を、反射率のパターンごとに、再度平均した値を示す。表7-2に、同様にして求める標準偏差の平均を示す。また、表7-3に同様なベクトル照度の高度の平均、表7-4にその標準偏差の平均を示す。

ベクトル/スカラ比やその変動は、一般に、室内仕上げの反射率が高いとき、窓際の方が大きい。しかし、一般に、天候などの外因による変動は小さい。これは、室内の昼光環境が昼光の状況の変動や外部環境に連動することによると考える。ベクトル/スカラ比やベクトル照度の高度に大きく影響するのは、室内の反射率の構成と考えられる。したがって、反射率の構成が昼光環境のモデリングを支配する大きな要因と考える。

ベクトル照度の高度は、しばしば、負となる。すなわち、昼光は下方から流れる。特に、窓際や床の反射率が高いときにその傾向が見られる。これは直射日光の射入による影響と考える。

図7-1に窓際中央(W点)、図7-2に窓際壁寄り(Y点)、図7-3に室内中央(X点)、図7-4に室内壁寄り(Z点)における、ベクトル/スカラ比とベクトル照度を変動の範囲と、そのおよその重心点を室内仕上げの反射率のパターンごとに示す。

これにより、一般に、以下のように考察できる。

- 1) 反射率の高いときほど、ベクトル/スカラ比は小さい。その順位は(80, 80, 80), (80, 80, 20), (80, 50, 20), あるいは、(80, 80, 5), (80, 50, 5), (5, 5, 5)である。
- 2) 窓際の方が室内よりもベクトル照度の高度の変動が大きい。
- 3) (5, 5, 5)の極端なときを除いて、ベクトル/スカラ比の値は室内の方が小さい。

表7-1 ベクトル/スカラ比の終日の平均〔-〕

反射率(%) 天井, 壁, 床	W	Y	X	Z	平均
80,80,80	1.02	1.04	0.52	0.49	0.77
80,80,20	1.73	1.70	1.05	0.97	1.36
80,80,5	2.64	2.54	1.46	1.28	1.98
80,50,20	2.09	2.13	1.60	1.54	1.84
80,50,5	2.94	2.89	2.04	1.95	2.45
5, 5, 5	3.48	3.72	4.31	4.19	3.93
平均	2.32	2.34	1.83	1.74	

表7-2 ベクトル/スカラ比の終日の標準偏差〔-〕

反射率(%) 天井, 壁, 床	W	Y	X	Z	平均
80,80,80	0.20	0.15	0.02	0.04	0.10
80,80,20	0.25	0.20	0.04	0.07	0.14
80,80,5	0.22	0.16	0.05	0.07	0.13
80,50,20	0.21	0.19	0.31	0.07	0.58
80,50,5	0.09	0.14	0.08	0.06	0.09
5, 5, 5	0.14	0.18	0.03	0.08	0.10
平均	0.18	0.17	0.09	0.07	

表7-3 ベクトル照度の高度の終日の平均〔-〕

反射率(%) 天井, 壁, 床	W	Y	X	Z	平均
80,80,80	-18.21	-17.36	8.37	-1.16	-7.09
80,80,20	-5.20	-5.53	21.98	20.72	7.99
80,80,5	9.08	9.67	17.22	16.64	13.15
80,50,20	-3.26	-0.95	12.14	10.14	4.52
80,50,5	9.51	10.39	12.01	9.87	10.45
5, 5, 5	1.82	2.86	1.59	2.15	2.10
平均	-1.04	-0.15	12.22	1.17	

表7-4 ベクトル照度の高度の終日の標準偏差〔-〕

反射率(%) 天井, 壁, 床	W	Y	X	Z	平均
80,80,80	15.88	11.34	2.97	3.63	8.46
80,80,20	11.88	8.62	2.83	4.70	0.12
80,80,5	2.51	2.80	1.94	3.76	2.75
80,50,20	8.01	6.43	1.84	2.66	4.74
80,50,5	1.57	1.04	1.48	1.63	1.43
5, 5, 5	3.81	3.40	0.69	0.54	2.11
平均	7.28	5.61	1.96	2.82	

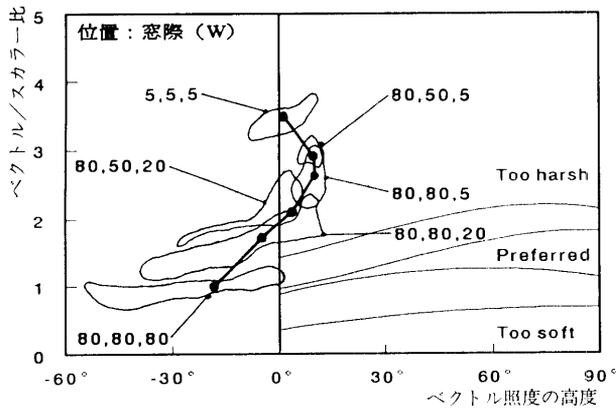


図7-1 モデリング評価 (窓際中央)

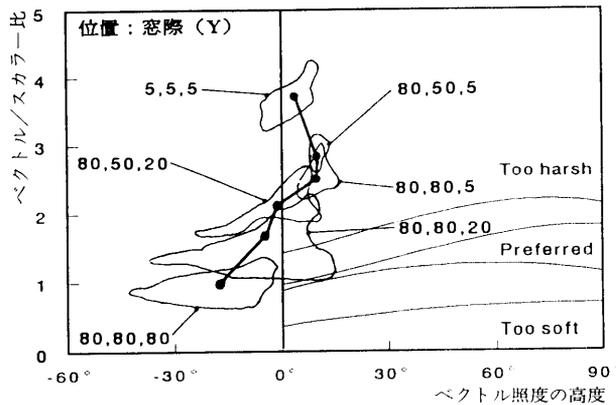


図7-2 モデリング評価 (窓際壁寄り)

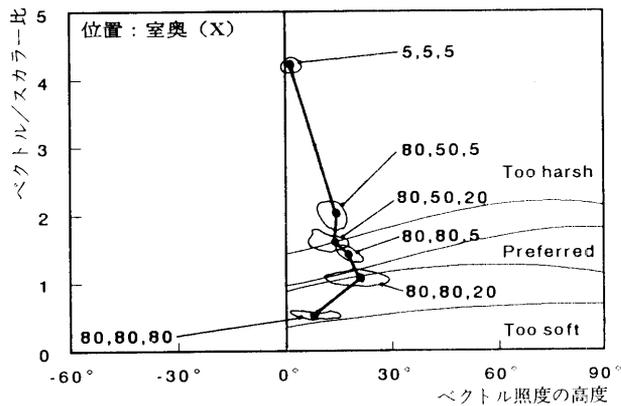


図7-3 モデリング評価 (室奥中央)

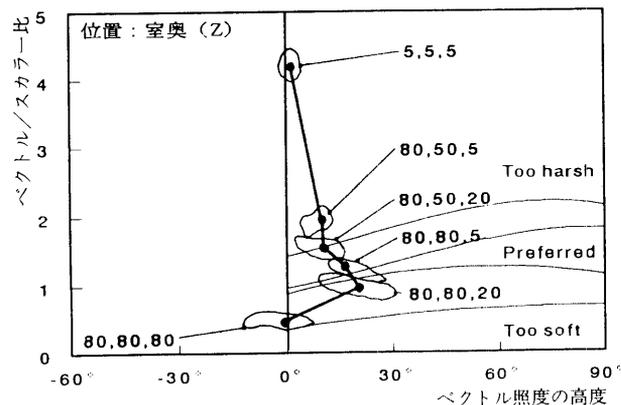


図7-4 モデリング評価 (室奥壁寄り)

- 4) 窓際には、好ましいモデリングを得ることは望めそうにない。僅かに、(80, 80, 20) のとき、許容できる領域を掠めることがある程度である。
- 5) 室内では、好ましいモデリングや許容できるモデリングを得ることが可能である。
- 6) モデリングのためには室内反射率が (80, 80, 20) や、(80, 80, 3) や (80, 50, 20) 程度が望ましいようである。
- 7) (80, 80, 80) はやや Too Soft (平板的) になる。
- 8) (80, 50, 5) はやや Too Harsh (どきつい) になる。
- 9) (5, 5, 5) はモデリングのためには極めて悪い。

7.2 シルエット現象

図7-5に示すように、明るい窓などを背景にしたとき、目の順応輝度が高くなる。また、視対象と背景輝度の対比が大きくなる。その結果、顔など視対象の表面を暗く感じ、細部が見えなくなったり、見えにくくなる。これをシルエット現象という。シルエット現象は窓際だけでなく室内でも、窓に向かったとき、しばしば見られる。

シルエット現象に関し、表7-5のような、背景輝度に対する視対象の鉛直面照度との比が提案されている^{文8)}。

本実験で、視対象の照度である室の奥向きの鉛直面照度は測定した。しかし、背景輝度は測定不能である。したがって、検討点における窓向きの鉛直面照度に円周率を乗じて求めることができる、窓向きの全視野の平均輝度を暫定的に背景輝度として検討を試みた。この平均輝度は、視対象周辺の背景輝度より低い値を示すと考える。特に、室内仕上げの反射率が低いとき、その差は大きいと考える。また、室内では、窓際よりも差が大きいと考える。差が大きく値が小さければ小さいほど、表7-5の値に対応する比は大きくなり、シルエット現象が起こりにくい傾向を示すことになる。

この比の終日の変動は少ない。また、天候による値の変化も小さい。これは、対比する二つの値が日光の状況に同じように連動するからと考える。しかし、室内の反射率の構成によって大きく相違する。したがって、反射率の構成が支配的な要因と考える。

表7-6に、窓際の2点(WとY)と室内の2点(XとZ)の終日の平均値を、反射率のパターンごとに、再度平均した値を示す。表7-7に、同様にして求める標準偏差の平均を示す。

室内の値が大きくなることを考えると、シルエット現象が起こりやすいのが、窓際か室内かは即断できない。反射率の構成については、反射率が高いほど値が大きくなることを考慮に入れても、反射率が高いほどシルエット現象は起こりにくいとしてもよいと考える。表7-6の最上段に記した(80, 80, 80)から、(80, 50, 5)ま

での各パターンの反射率構成なら、一般にシルエット現象は防除できると考える。(80, 50, 5)については断言できない。(5, 5, 5)は極めて危険である。すなわち、室内の仕上げ面の総ての反射率を極端に低くすることは避けるべきである。

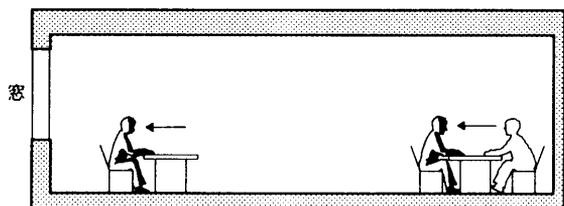


図7-5 窓を背にする人物のシルエット現象

表7-5 シルエット現象の防止に必要な顔面照度

段階	室奥向きの照度 背景輝度 $\left(\frac{\text{lx}}{\text{cd/m}^2}\right)$
1.シルエットに見えないための下限	0.07
2.目鼻が見えるための下限	0.15
3.やや良い	0.30

表7-6 室奥向き照度/背景輝度(平均値) $\left(\frac{\text{lx}}{\text{cd/m}^2}\right)$

反射率(%) 天井、壁、床	W	Y	X	Z	平均
80,80,80	1.26	1.24	2.01	2.04	1.64
80,80,20	0.60	0.64	1.55	1.60	1.10
80,80,5	0.27	0.32	1.29	1.39	0.82
80,50,20	0.38	0.39	1.01	1.04	0.71
80,50,5	0.16	0.20	0.87	0.88	0.53
5,5,5	0.02	0.02	0.07	0.06	0.04
平均	0.45	0.47	1.13	1.17	

表7-7 室奥向き照度/背景輝度(標準偏差) $\left(\frac{\text{lx}}{\text{cd/m}^2}\right)$

反射率(%) 天井、壁、床	W	X	Y	Z	平均
80,80,80	0.16	0.28	0.03	0.08	0.13
80,80,20	0.14	0.17	0.04	0.11	0.12
80,80,5	0.05	0.05	0.04	0.08	0.05
80,50,20	0.05	0.07	0.03	0.06	0.05
80,50,5	0.01	0.01	0.04	0.04	0.03
5,5,5	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01
平均	0.07	0.10	0.03	0.06	

7.3 窓際モデリング

たとえば、図7-6に示すように窓に平行に向いた人物と対面するとき、顔面の輝度対比が大きくなり不快を感じることがある。このように、視対象は、窓側に面した部分の照度が過度になり、室奥に面した部分の照度が不足し、照度対比が大きくなる。したがって、輝度対比が大きくなり見やすさを損なうことがある。これを窓際モデリングという。

窓際のモデリングに関し、表7-8のような、視対象の両面の鉛直面照度比が提案されている⁸⁾。

視対象の両面の鉛直面照度比が最も大となるのは、一般に、窓向き鉛直面照度と室奥向き鉛直面照度である。これらは本実験でも測定している。

本検討では、便宜上、提案値の逆数を評価値として使用する。これも併せて表7-8に示す。

表7-6と表7-7に示すシルエット現象の値と同様にして求めた両面の鉛直面照度比と、標準偏差の平均値を表7-9と表7-10に示す。

窓際のモデリングの評価値は上記のシルエット現象の評価値を円周率で除したものである。したがって、その傾向はシルエット現象の評価値と全く同じである。

この評価で、好ましいとされるのは反射率の高いときの室奥だけである。反射率の低いとき(5, 5, 5)や、(80, 50, 5)のときの窓際の評価は低い。(80, 80, 5)のときの窓際中央も評価が低い。そのほかのときは、中庸である。

したがって、窓際のモデリングは反射率が高いほど良好と考えるが、その劣化は反射率如何にかかわらず起る可能性がある。

8. 結語

先の報告で列記した事項や本報告で指摘した事項は、いずれも、住宅空間の昼光環境に関する有用な示唆である。しかし、これらを一般の実務家が、そのまま設計指針として適用するのは困難である。安直に指針と称すのも危険である。有用で適切な指針に昇華するには、さらに、実態調査や実験を重ねる必要がある。

実際の計画や設計に直接応用できる本研究の有用な成果は、モデリング、シルエット現象、窓際のモデリングに基づく、室内反射率の構成に関するものである。

すなわち、提案されているモデリング、シルエット現象、窓際のモデリングなどの評価法が適切で、また、これらが昼光環境の照明の質を代表すると考え、室内の光環境の質を良好にするために、以下のことを指摘する。

- 1) 一般的に、室内仕上げ面の反射率を高くするのが望ましい。
- 2) 一般的に、室内仕上げ面の反射率が低いと照明の質が劣化する。

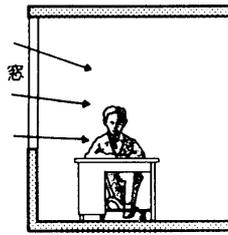


図7-6 窓際のモデリング

表7-8 窓際のモデリング評価のための照度比(-)

段階	視対象の両面の鉛直面照度の比	
	提案値	逆数
1.どぎつい	10	0.1
2.好ましい	2~6	0.5~0.17

表7-9 室内奥向と窓向鉛直面照度の比(平均値)(-)

反射率(%) 天井, 壁, 床	W	Y	X	Z	平均
80,80,80	0.40	0.40	0.64	0.65	0.52
80,80,20	0.19	0.20	0.49	0.51	0.35
80,80,5	0.09	0.10	0.41	0.44	0.26
80,50,20	0.12	0.12	0.32	0.33	0.22
80,50,5	0.05	0.06	0.28	0.28	0.17
5, 5, 5	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02
平均	0.14	0.15	0.36	0.37	

表7-10 室内奥向と窓向鉛直面照度の比(標準偏差)(-)

反射率(%) 天井, 壁, 床	W	Y	X	Z	平均
80,80,80	0.05	0.09	0.01	0.03	0.05
80,80,20	0.04	0.05	0.01	0.04	0.04
80,80,5	0.02	0.02	0.01	0.03	0.02
80,50,20	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02
80,50,5	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01
5, 5, 5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
平均	0.02	0.03	0.01	0.02	

本実験の結果では、天井、壁、床の反射率が80%、80%、20%、あるいは、80%、80%、5%が推奨できる。80%、50%、20%は限界である。これ以上反射率が高いときは、光の拡散性が大きくなり、モデリングがToo Soft(平板的)になると考える。これ以上反射率が低いときは、光の方向性が強くなり、Too Harsh(どきつい)になると考える。

<参考文献>

- 1) 中村 洋：住宅空間における昼光環境の動的変動に関する研究, 研究年報, No.20, 住宅総合研究財団 pp.317-326, 1994.3
- 2) 中村 洋, 慎 仁重, 古賀靖子：建築空間における昼間の光環境の動的変動に関する研究, その1：住居空間の昼光環境について, 照明学会誌, Vol.79, No.2, pp.49-56, 1995.2
- 3) Nakamura, H et al：International Daylight Measurement Programme (IDMP), 2nd LUX PACIFICA, Bangkok, pp. J7-J14, 1993.11
- 4) 中村 洋 他：国際昼光測定プログラム (IDMP) について, 日本照明委員会誌, 第11巻 第3号 pp.2-8, 1994.8
- 5) 中村 洋 他：新しく試作した六面照度計について, 日本建築学会東海支部研究報告第25号 pp.181-184, 1987.2
- 6) Nakamura, H et al：Portable Multi-Channel Daylight Data Recording System for Field Measurement Works, 4th Int. Symp. on the Use of Computers for Environmental Engineering Related Buildings, Tokyo, pp.571-576, 1983
- 7) C.Cuttle et al.：Beyond the Working Plane, CIE Washington, Volume B, pp.471-482, June 1967
- 8) 照明学会：昼間の合理的照明設計(新しいPSALI), pp.37-38, 1974
- 9) Shin, I., Nakamura, H., Koga, Y et al.：Analysis of dynamic aspect of daylight environment in interiors, 2nd LUX PACIFICA, Bangkok, pp.C1-C6, 1993
- 10) Nakamura, H., Koga, Y., Shin, I. et al.：A study on the Dynamics of a Daylit Environment in a Residential Area, Daylight in Buildings-International Workshop, Sydney, 1994, (11 pages)

<研究組織>

- 主査 中村 洋 九州大学工学部建築学科教授
 委員 古賀 靖子 九州大学工学部建築学科助手
 " 松沢 朋子 九州共立大学工学部建築学科講師
 " 慎 仁重 九州大学工学部工学研究科建築学専攻博士後期過程3年

- 3) 天井、壁、床の総ての仕上げ面の反射率が高いとモデリングを害することがある。特に、床面の反射率が低いときは注意する必要がある。
- 4) 天井、壁、床の総ての仕上げ面の反射率が低いと、昼光環境の照明の質にとって極めて危険である。