

光熱環境の総合研究

——太陽光の有効利用を目的とした野外照度・日射量の測定と模型実験——

小宮英孝

Research on Lighting and Thermal Environments in Buildings

——Measurements of Outdoor Illumination and Solar Radiation and Daylight Factors in Model Room——

Hidetaka Komiya

Abstract

The main objects of this study were to obtain conversion factors from solar radiation for illumination and frequency distributions of illumination from unobstructed sky and skylight illumination based on annual measurements. The conversion factors for total sky, skylight, and direct sunlight were 118, 120, and 112lm/W, respectively, and greatly affected by solar altitude. Several kinds of reflectors were arranged at a model room and daylight factors were measured in the room, and it was found that the daylight factors become larger and the distribution curve of daylight factors is flattened. The author believes these results will serve as fundamental data for lighting and thermal environments in buildings.

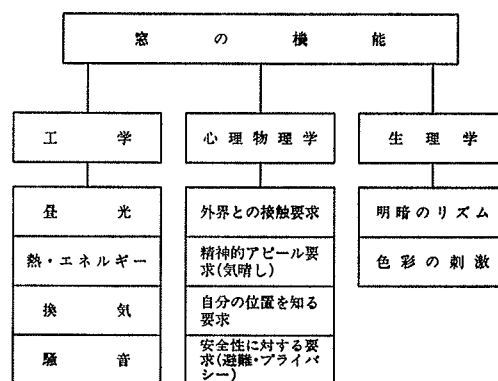
概要

本報告は、省エネルギー効果だけでなく心理的・生理的効果のある太陽光の室内への有効利用を目的として、年間実測により日射量と照度との変換係数および出現度分布を求めるとともに、模型実験によって室内へ太陽光を有効に取り入れる装置の検討をおこなったものである。この結果、照度と日射量の比で示される変換係数は、年間平均値で、全天光、天空光直達光はそれぞれ 118lm/w, 120lm/w, 112lm/w という値が得られるとともに、この変換係数は主に太陽高度の影響を強くうけることが明らかになった。また適切な反射装置を用いると、室内昼光率および昼光分布を向上できることが明らかになった。ここで得られた結果を用いて、太陽光による熱・光の総合的な省エネルギー効果および昼光照明による消燈率を求めることができる。

1. はじめに

建物の省エネルギー化をはかる場合、窓は熱的に最も弱い構成部材であることはよく知られている。しかし窓には、熱・光・空気・音を室内外へ伝達するという工学的な機能だけでなく、外界とのコンタクトが取れることによる心理的な機能や明暗のリズムが人間に与える生理的な機能がある（図—1参照）。したがって、窓に関する検討をおこなう場合には、以上のことを考慮に入れる必要がある。

本報告は、省エネルギー効果だけでなく心理的・生理的効果のある太陽光の室内への有効利用を目的として、年間実測により日射量と照度との変換係数および出現度数分布を求めるとともに、模型実験によって室内へ太陽光を有効に取り入れる装置の検討をおこなったものであ



図—1 窓の機能

る。ここで得られた結果を用いて、太陽光による熱・光の総合的な省エネルギー効果および昼光照明による消燈率を求めることができる。

2. 測定装置および測定方法

2.1. 野外照度と日射量の測定

日射量と照度の変換係数と出現度数分布を求めるための測定項目は、野外水平面全天日射量、野外水平面全天照度、北天天空日射量、北天天空照度の4点である。日射計は、英弘精機製ネオ日射計、照度計はラムダ社製ホットセンサーを用いた。センサーを写真-1に示す。天空光は北天1/4の測定により、求めることとした。これは文献²⁾で北天天空日射量が比較的安定していると報告されていることおよび太陽近辺の天空光も直達光の一部と考えた方がより実用的なためである。北天天空日射量、北天天空照度測定用のシャドウ装置を写真-2、3に示す。

す。シャドウ装置のセンサー位置からの高さおよび横幅の1/2は各センサー半径の20倍とした。測定データは連続自記記録されたものを、10分単位に整理した。計測期間は、昭和53年9月1日から54年8月31日までの1年間である。

2.2. 室内屋光分布の測定

太陽光を室内へ取り入れるための各種の反射装置を持つ模型を製作した。模型は、室奥行き9mの事務所空間を想定し、模型縮尺を1/10にしたものである。模型の展開図を図-2に、反射装置を図-3に示す。反射装置は図-3に示すように、4通り(1)~(4)であり、比較対象として、内ブラインドおよびカーテンを閉状態とした(5)、(6)を用いた。模型室内の照度測定には、直径20mm

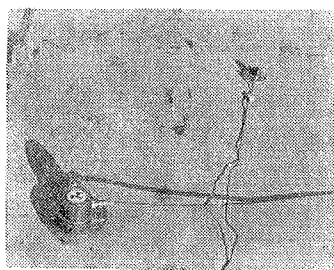


写真-1 全天日射量(左)と全天照度(右)の測定用センサー

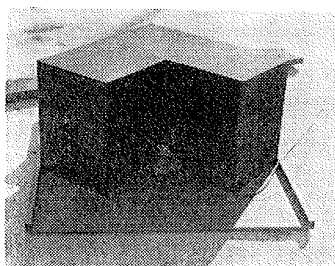


写真-2 北天天空日射量の測定用センサー

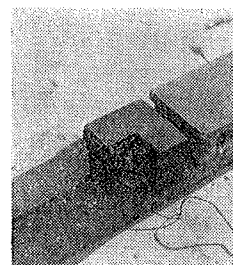


写真-3 北天天空照度の測定用センサー

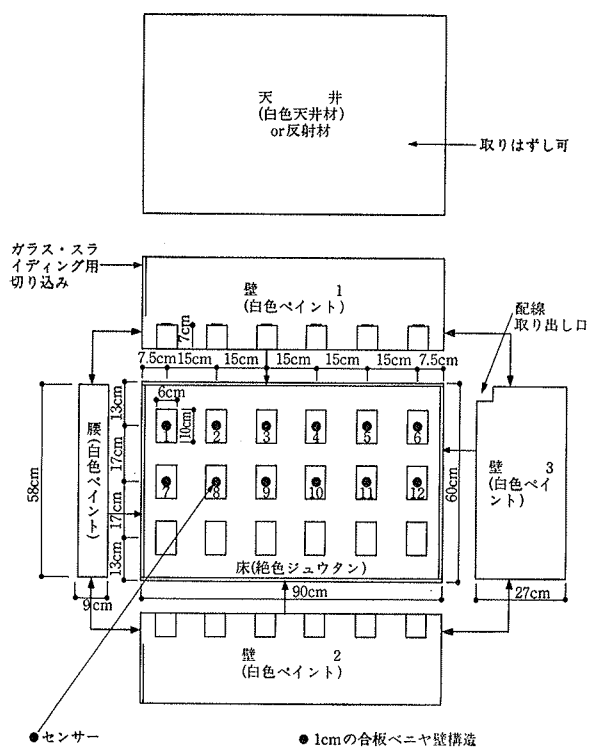


図-2 模型展開図 (模型縮尺: 1/10)

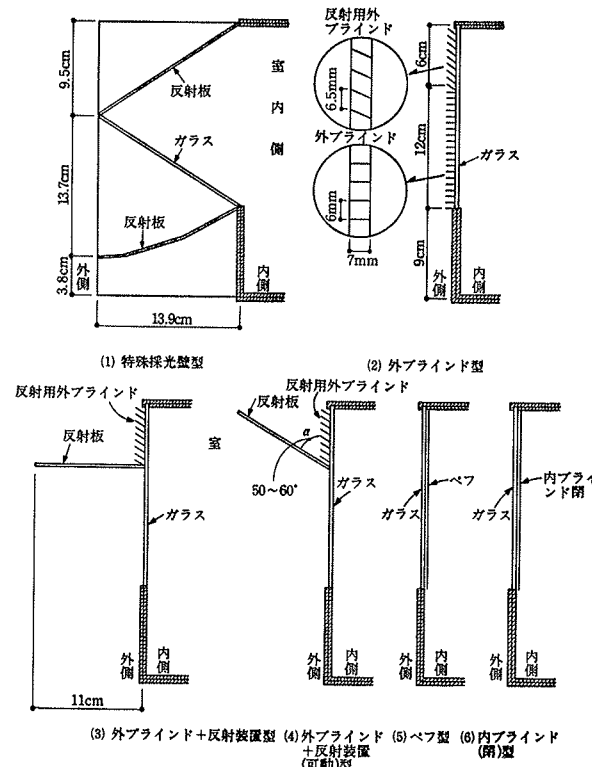


図-3 各種の反射装置

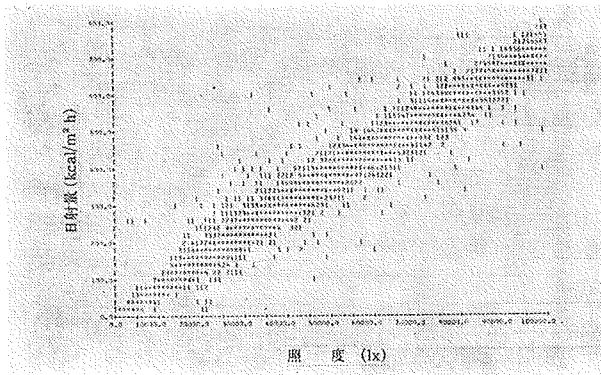


図-4 全天空の日照量と照度との相関
(変換係数: 118lm/w, 相関係数: 0.989)

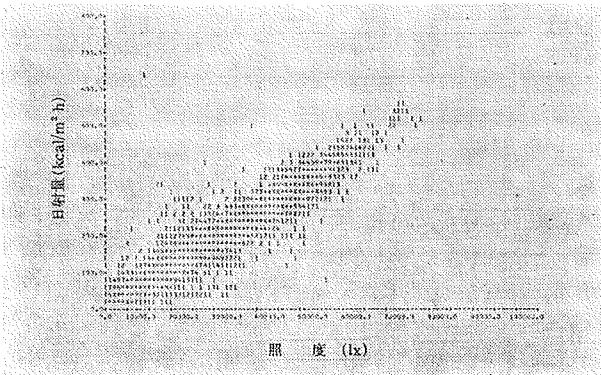


図-5 天空光の日照量と照度との相関
(変換係数: 120lm/w, 相関係数: 0.955)

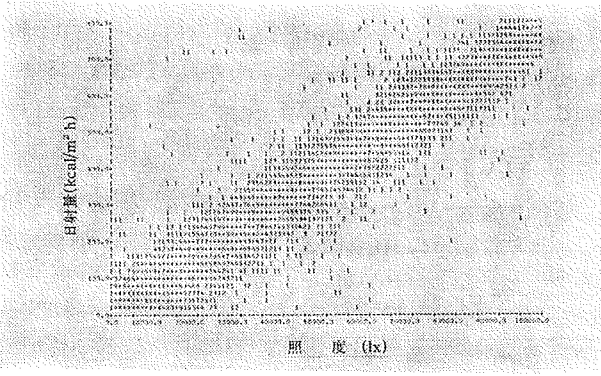


図-6 直達光の日照量と照度との相関
(変換係数: 112lm/w, 相関係数: 0.921)

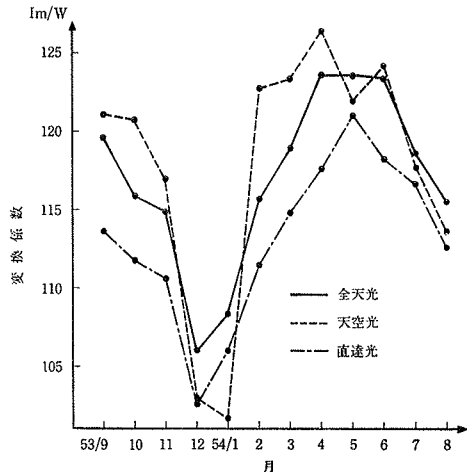


図-7 変換係数 (lm/w値) の季節変動

のセレン光電池を用いた。測定は昭和54年5月下旬におこなわれた。

3. 測定結果

3.1. 野外照度と日照量の測定

以下のデータ処理において、天空光の照度と日照量は、北天天空光の照度と日照量それぞれの4倍の値を用いた。又直達光の照度と日照量は、同時刻の各々の天空光と全天空との差を方線面に変換したのを用いた。照度、日照量の単位としてはそれぞれ lux, kcal/m²·h を用いたが、照度と日照量の比で示される変換係数の単位としては lm/w (1lm/w=1.163lm/k cal/h) を用いた。

(1) 日照量と照度の変換係数

図-4~6に、全天空、天空光、直達光、各々の年間における日照量と照度との相関を示す。但し、すべてのデータ処理において、太陽高度10°以下 (sin hでは0.1736以下) のデータは、省いてある。また、直達光の太陽高度別および全体の平均値には、直達日照量が200 kcal/m²h以下のものは含まれていない。これは、日照量が少ない場合や低角度からの入射がある場合は、測定誤差が大きくなるからである。図-4~6から、全天空、

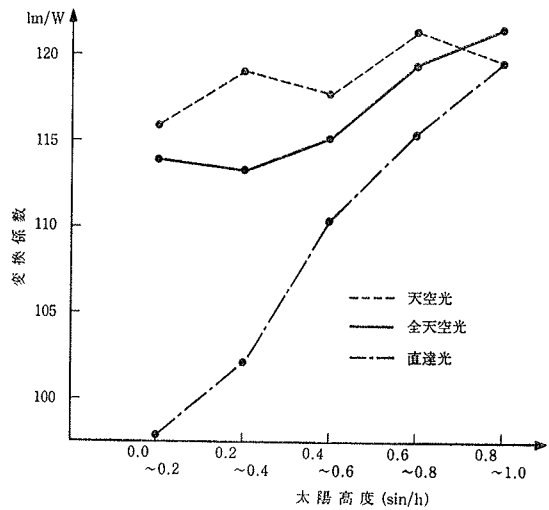


図-8 変換係数 (lm/w値) と太陽高度との関係

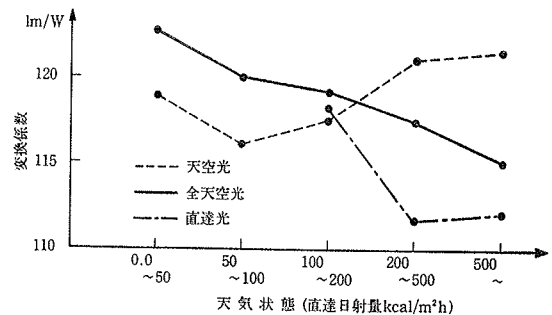


図-9 変換係数 (lm/w値) と天候状態との関係

天空光、直達光の年間平均変換係数 (lm/w 値) は各々 118 lm/w, 120 lm/w, 112 lm/w であり、また日射量と照度の相関係数は、各々 0.989, 0.955, 0.921 であり、相関が十分に高く、年間一定値を用いることも可能である。

図-7 は変換係数 (lm/w 値) と季節との関係を示す。図から変換係数は季節変動を受けていることが明らかである。しかし、この変換係数の季節変動は太陽度の季節変動と一致している。

そこで、図-8 に変換係数と太陽高度との関係を示す。太陽高度の変換係数に対する影響は、直達光に顕著にあらわれ、これにともない全天光、天空光にもあらわれている。太陽高度が低くなると、変換係数 (lm/w 値) が小さくなる傾向は、太陽高度が低くなると、air mass が長くなり、太陽光の分光分布が短波長域から長波長域に移動する現象によって説明ができる。太陽高度と各変換係数は概略次式で表現できる。

(直達光) 変換係数 (lm/w) = 27.8 sin h + 95

(全天光) 変換係数 (lm/w) = 12.2 sin h + 111

(天空光) 変換係数 (lm/w) = 7.78 sin h + 115.5

変換係数と天候状態 (方線面の直達日射量で分類) との関係を図-9 に示す。天候状態の変換係数に対する影響は、余り明確ではない。しかし、若干ではあるが、全天光は天候状態 (方線面直達日射量が増大) がよくなるにしたがって、変換係数が小さくなり、天空光は逆に大きくなる。天空光が天候状態と比例するのは、晴天時の青い短波長の方が、曇天時の灰色の長波長より明るいいためである。また全天光が天候状態と逆比例するのは、直達光と天空光のバランスを示しているものと思われる。

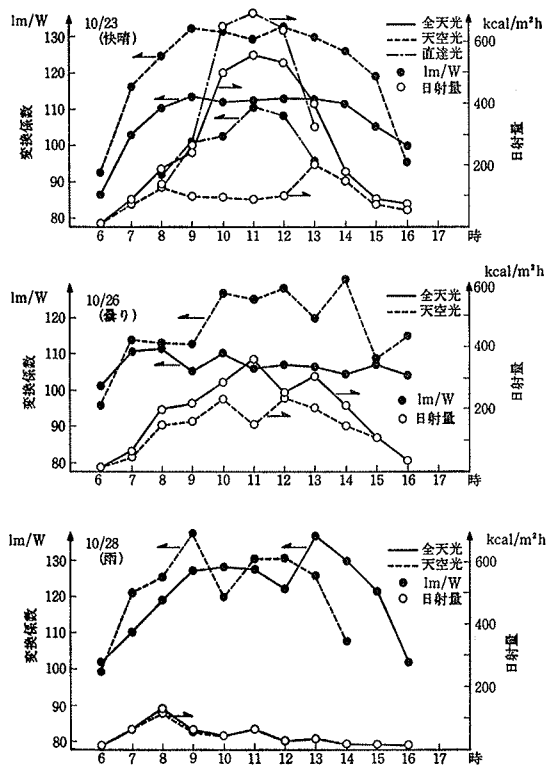
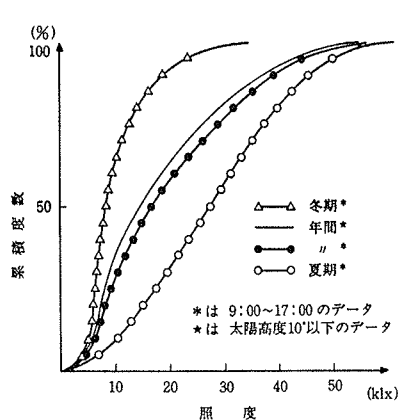
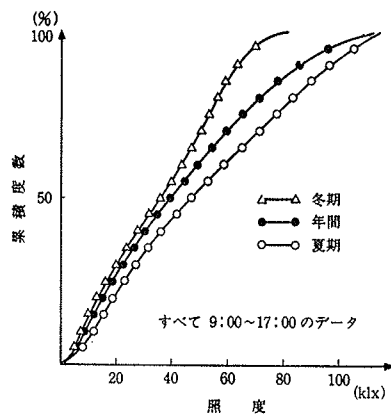


図-10 変換係数と日射量の日変動 (天候状態別)

図-10に、快晴日、曇天日、雨天日各々の変換係数と日射量の日変動を示す。快晴日には、変換係数の特色が明確に出ている。すなわち、天空光、全天光、直達光の順に変換係数が小さくなるとともに、太陽高度が低くなると、すべての変換係数が小さくなる傾向を示している。また快晴日の天空日射量は 100 kcal/m²h 前後であ

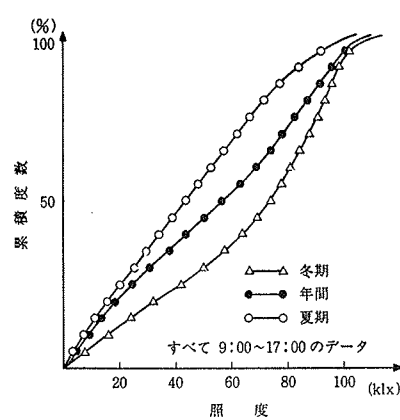


期間	%	95	90	85	80	50	20	15	10	5
冬期 (11,12,1,2月)		23.4	18.9	16.2	14.1	8.4	6.0	5.7	5.4	4.2
年間		44.1	39.0	35.1	31.5	16.5	8.1	7.2	6.6	4.8
夏期 (5,6,7,8月)		49.8	45.0	42.0	39.6	2.7	15.0	12.9	10.5	6.6



期間	%	95	90	85	80	50	20	15	10	5
冬期 (11,12,1,2月)		69.6	63.0	58.8	55.8	36.0	13.2	10.2	7.8	5.4
年間		95.4	85.8	78.0	70.8	39.0	15.0	12.0	9.0	6.6
夏期 (5,6,7,8月)		104.4	96.0	89.4	82.8	46.8	18.6	15.0	12.0	7.8

図-12 全天光の出現度数分布



期間	%	95	90	85	80	50	20	15	10	5
冬期 (11,12,1,2月)		102.0	98.4	94.8	93.0	73.8	32.4	24.0	16.2	7.2
年間		100.2	94.6	91.8	87.0	56.4	18.6	13.2	8.4	4.2
夏期 (5,6,7,8月)		91.8	84.0	76.8	71.8	43.2	15.4	10.8	7.2	3.0

図-13 直達光の出現度数分布

図-11 全天光の出現度数分布



写真-4 模型室内反射状態 (反射装置(4))

る。曇天日には、太陽高度の変換係数に対する影響は、快晴日ほど明確ではない。全天光の変換係数は、快晴日より日変化が少ない。天空光の変換係数も、快晴日より若干低くかつ日変化が少ない。また曇天日の天空日射量は $200 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ である。雨天日の変換係数は、全天光、天空光ともに、値、日変動が大きくなっている。これは、天空日射量が約 $50 \text{ kcal/m}^2\text{h}$ であることが示すように、測定値が小さくなり測定精度上の問題によるものと思われる。

(2) 野外照度の出現度数分布

天空光、全天光、直達光各々の照度の年間出現度数分布を図-11~13に示す。データは作業時間帯 9:00~17:00の範囲のものを用いている。

天空照度の出現度数分布は、大阪の測定例⁹⁾と比較すると年間値で10~20%低めになっている。これは、天空照度を北天天空照度から求めているので、太陽近辺の明るい天空光が含まれていないためである。したがって、太陽高度が低い冬期の天空照度がかかなり低めになっているとともに、直達照度が高めになっている。

3.2. 室内昼光分布の測定結果

各種反射装置を用いた場合の、模型中央の昼光率分布を図-14, 15に示す。図から、反射板を用いることによって、快晴時、曇天時のいずれも、昼光率が向上するとともに、昼光率の分布が均一化されることが示されている。写真-4に、反射装置(4)を用いた場合の模型室内の反射状態を示す。

4. 結論

(1) 年平均の日射と照度の変換係数が、全天光、天空光、直達光各々について求められ、季節変動、太陽高度および天候状態との関係が明らかになった。この変換係数を用いて、太陽光を熱と光の両面からとらえることができる。

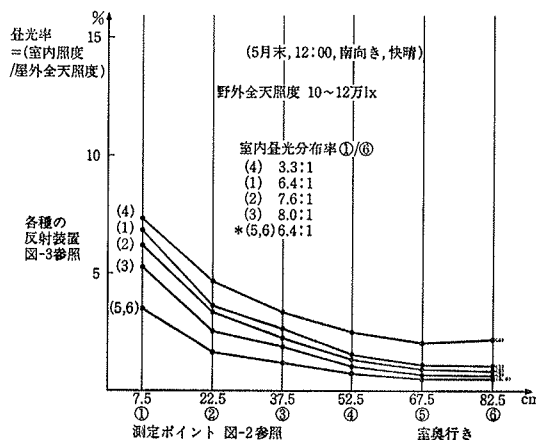


図-14 各種の反射装置と昼光分布 (快晴)

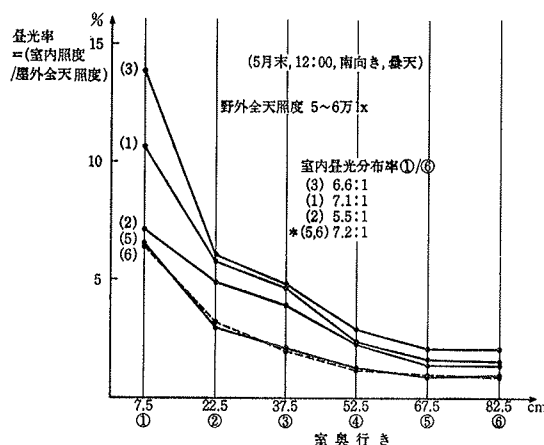


図-15 各種の反射装置と昼光分布 (曇天)

(2) 全天照度と天空照度の年間出現度数分布図表を作成した。これを用いて、昼光照明による消灯率を求めることができる。またこの結果を大阪で測定された結果と比較すると、照度が低いことが明らかになったがこれは北天天空照度から天空照度を求めているためである。

(3) 反射装置の効果は、予備的な模型実験によって確認されたが、実物による検証が必要である。

参考文献

- 1) 宮沢 寛: 傾斜面地形面に達する自然昼光の分光分布
- 2) 鈴木憲三, 他: 直散分離問題に対する北天日射量の利用, 日本建築学会大会 学術講演梗概集, (昭和52.10)
- 3) 伊藤克三, 他: 作業時間帯における全天空照度の年間出現頻度, 照明学会全国大会, (昭和52)