

中国・上海のCSWD標準年気象データの日射天空成分比の改良

REFINEMENT TO THE SOLAR RADIATION OF CSWD IN SHANGHAI OF CHINA WITH CONSIDERATION OF CLOUD RATIO

袁 繼輝 ——— * 1 永村一雄 ——— * 2
 ファーナム・クレイグ — * 3

Jihui YUAN ——— * 1 Kazuo EMURA ——— * 2
 Craig FARNHAM ——— * 3

キーワード:
 CSWD, 標準年気象データ, 日射量, 天空成分比

Keywords:
 CSWD, Standard year weather data, Solar radiation, Cloud ratio

Among four sets of Standard Year Weather Data (CSWD, CTYW, IWEC, SWERA) in China, only CSWD measures solar radiation. We show that the cloud ratios of CSWD in May, June, and July, are significantly smaller than the other three sets and measured solar radiation in Shanghai. In addition, the cloud ratios of CSWD in May, June and July are outside the bounds of the sky condition classification, thus not physically realistic. In order to obtain a higher accuracy of the solar radiation for air conditioning load calculations, we refine the cloud ratio of CSWD that yields realistic values of cloud ratio.

1. はじめに

中国で一般的に用いられる建物熱負荷計算のための標準年気象データにはCSWD・CTYW・IWEC・SWERAがある。このうち、CSWDはもっとも利用率の高い¹⁾ものであり、含まれる日射量が全天観測を元に行っている特徴を有する。これらの標準年気象データの構成概要²⁾を表1に示す。

CSWDでは、5, 6, 7月をみると、CSWDの日射天空成分比(Ce)は他3つの標準年気象データのそれより小さいことがわかった。また、CSWDの日射日積算量は標準年の3月12日、7月10日と10月9日の3日間には0と記録され、現実にはありえない値も含んでいる。そこでCSWDを精度の高い気象データとするため、2010年から中国の上海の同济大学医学部棟の屋上に日射計を設置し、全天日射量と天空日射量を観測して、CSWDの5, 6, 7月の天空成分比の修正を行ったので報告する。

表1 中国4つの標準年気象データ日射量の構成概要

| 気象データ | 推定に要する気象要素 | 観測間隔 | 間隔補充 |
|---|----------------------------|------|---|
| CSWD (Chinese Standard Weather Data) | 日積算日射量 | 日別値 | Collores-Perein & Rabl モデル ³⁾ により間隔補充を行った後、江億 ⁴⁾ のMarkov連鎖モデルで気象状況を判断 日積算と大気圏外日射量との比K _v 値で3段階に分離し快晴以外を補正 直散分離は天気により以下を採用: 快晴:Liu and Jordan式 ⁵⁾ , 雲あり:早川・清水 ⁶⁾ , 曇天:直達日射量なし |
| CTYW (Chinese Typical Year Weather) | 気温、雲量、相対湿度 | 3時間 | 必要な気象要素を間隔補充した後、崔ら ⁷⁾ の雲量、気温、相対湿度、風速を説明変数とした回帰系日射モデルで要素補充 別途入手した年間観測日射データに基づき、最小二乗法で日射量を推定 直散分離は、張 ⁸⁾ のGompertz関数法 |
| IWEC (International Weather for Energy Calculations) | Sky cover エアロゾル 光学距離 | 3時間 | 天気状況(Clear sky・Cloud sky)により二分化 基本的にClear skyでのMETSTAT ⁹⁾ モデルで間隔補充 METSTATはARMA時系列を用いたモデル化手法 Cloud sky状態はMETSTATの日射量をKasten ¹⁰⁾ モデルで修正 直散分離はPerez ¹¹⁾ モデルによる |
| SWERA (Solar Wind Energy Resource Assessment) | Sky cover エアロゾル 光学距離 | 3時間 | METSTATに倣う |

2. CSWD・上海の問題点

2.1 上海における4つの標準年気象データの天空成分比

中国上海を例に、4つの標準年気象データの年間月別天空成分比(Ce; 附録参照)を求めて比較した結果を図1に示す。

これより、月別天空成分比の差がもっとも大きいときは約0.3である。また、SWERAの天空成分比は最も大きく、0.58~0.72である。CSWDの天空成分比は最も小さく、0.40~0.61である。特に5, 6, 7月は、CSWDは他より小さく、0.4で、差は0.1~0.32となる。また、年間の変化をみると、5, 6, 7月の3ヶ月が目だって小さい。

2.2 日本の主要地点の天空成分比

天空成分比の一般的な傾向を検討するには、正確な気象データが必要となる。ここでは、上海に近い、高精度の気象データの1つである拡張アメダス気象データ¹²⁾を使って日本の主要な地点の天空成分比を求めて比較する。天空成分比を求めたものを図2に示す。冬期は地点によるばらつきは大きい、夏期は0.5~0.7が大半である。

¹⁾ 大阪市立大学大学院生活科学研究科 博士後期課程 (〒558-8585 大阪市住吉区杉本3-3-138)

²⁾ 大阪市立大学大学院生活科学研究科 教授・工博

³⁾ 大阪市立大学大学院生活科学研究科 講師・博士(工学)

¹⁾ Doctor Course, Graduate School of Human Life Science, Osaka City Univ.

²⁾ Prof., Graduate School of Human Life Science, Osaka City Univ., Dr. Eng.

³⁾ Lecturer, Graduate School of Human Life Science, Osaka City Univ., Dr. Eng.

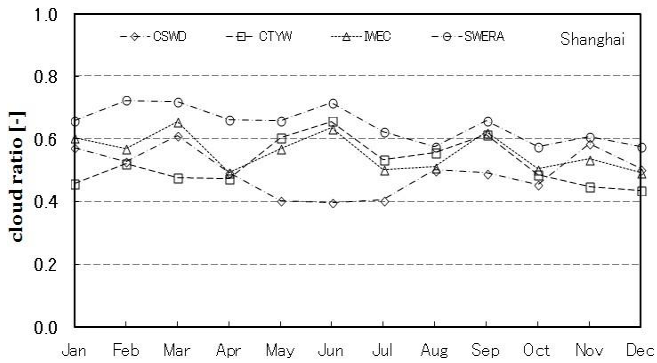


図1 月別天空成分比の比較(上海のCSWD・CTYW・IWECC・SWERA)

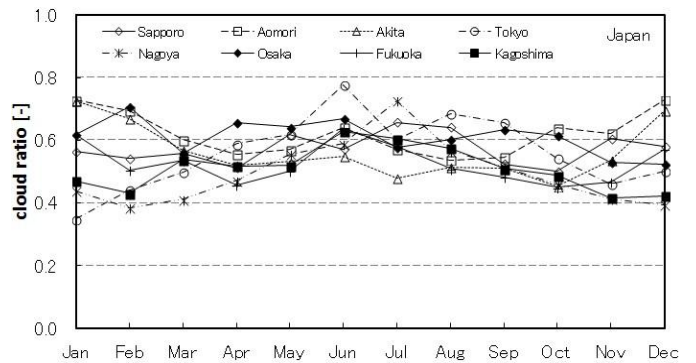


図2 日本の各地点の月別天空成分比の比較(拡張アメダス)

表2 日射量観測機器の概要

| 機器 | データ間隔 |
|--------------|-------|
| 日射計 | — |
| 回転式遮蔽バンド | 5分 |
| データロガー(日射計用) | 10秒 |



図3 上海・同済大学での日射量観測

表3 CSWD、実測、Perez モデルにより求めた月別天空成分比

| 天空比率 | 1月 | 2月 | 3月 | 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ce(CSWD) | 0.57 | 0.53 | 0.61 | 0.49 | 0.40 | 0.40 | 0.40 | 0.50 | 0.49 |
| Ce(実測) | 0.55 | 0.60 | 0.63 | 0.52 | 0.54 | 0.60 | 0.51 | 0.50 | 0.52 |
| Cep(Perez) | 0.55 | 0.59 | 0.62 | 0.52 | 0.53 | 0.57 | 0.52 | 0.50 | 0.51 |

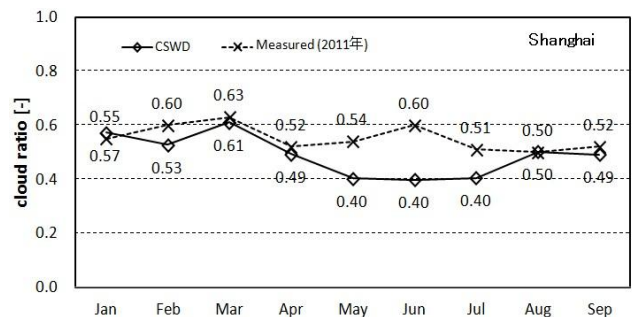


図5 上海での実測とCSWDの月別天空成分比の比較

3. 上海における日射実測

3.1 実測と天空比率

上海の現実の天空成分比を知るため、2010年から上海・同済大学の医学部棟屋上に日射計(表2)を設置し、上海地区の全天日射量と天空日射量の観測を行った。設置の様子を図3に示す。

回転式遮蔽バンドを用い、全天日射量と天空日射量を分けて5分間隔で日射データを計測している。2011年5月の実測例を図4に示す。上海の1月から9月までの実測による月別天空成分比、CSWDによる

それを表3に示す。またCSWDとの比較を図5に示す。明らかに、5, 6, 7月でCSWDは実測と乖離していることがわかる。

3.2 天空状態の指標

図6は、井川ら¹³⁾がKasten¹⁴⁾モデルを用いて考察した天空放射輝度の分類を示す図である。晴天指標 Kc と直達成分を表す澄清指標 Cle(附属参照)により、天空の状態を分類できることが判明している。

この分類図に、先の上海の実測データをあてはめてみる。例えば、比較的是ずれやすい快晴日として、図7に示す5月18日を取りあげ

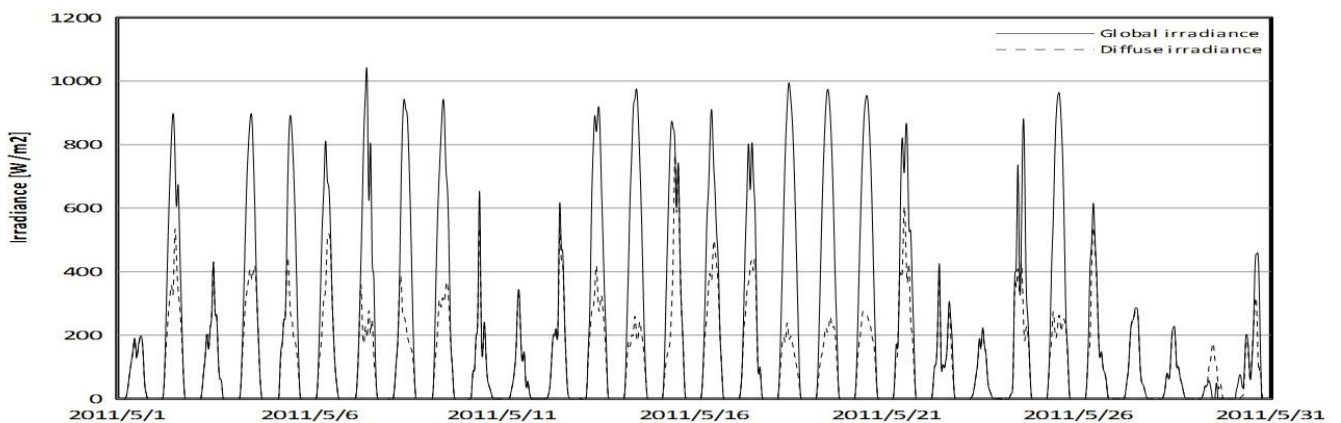


図4 上海・同済大学における全天・天空日射量(実測)

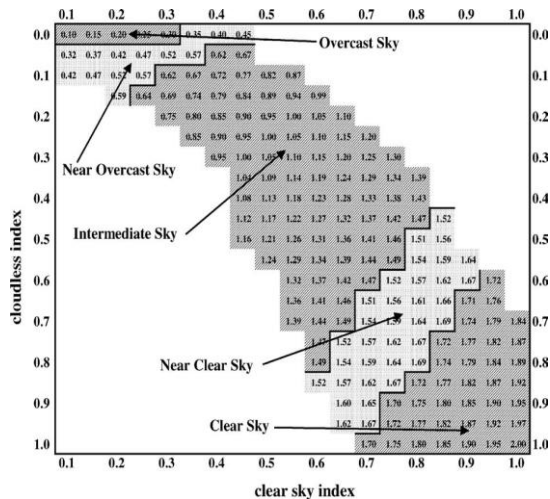


図6 天空状態分類 K_c と C_{le} ¹³⁾

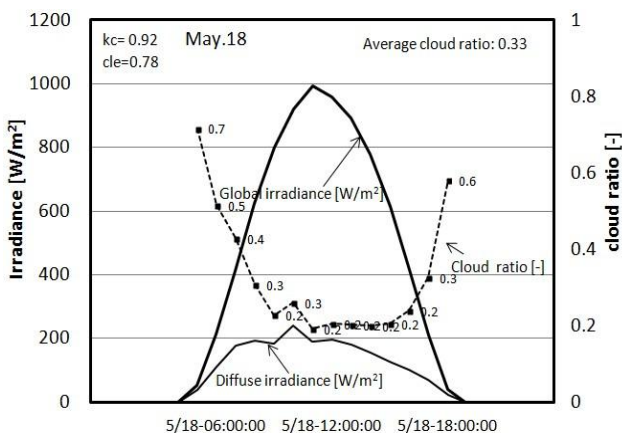


図7 晴天日の日射量と天空成分比(5月18日)

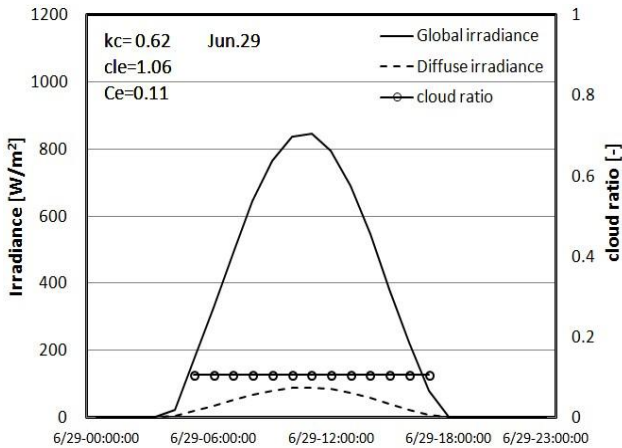


図8 CSWDの日射量と天空成分比(6月29日)

表4 実測した晴天日の天空状態指標 K_c と C_{le}

| 指標 | 1/14 | 2/24 | 3/18 | 4/13 | 5/18 | 6/25 | 7/16 | 8/27 | 9/27 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| K_c | 0.79 | 0.76 | 0.81 | 0.90 | 0.92 | 0.93 | 0.91 | 0.83 | 0.93 |
| C_{le} | 0.68 | 0.68 | 0.54 | 0.73 | 0.78 | 0.85 | 0.79 | 0.58 | 0.86 |

表5 5, 6, 7月の修正係数と天空成分比

| 項目 | 5月 | 6月 | 7月 |
|-----------------|------|------|------|
| 修正係数 k | 1.33 | 1.37 | 1.33 |
| 修正後の天空成分比 C_e | 0.53 | 0.55 | 0.53 |

ると、 $K_c=0.92$, $C_{le}=0.78$ は図6の天空状態に収まっている。他の晴天日も同様で、表4に示すように、すべてが図6のマトリックスに収まっている。

ところが、図8に示すCSWDの快晴日6月29日を取りあげると、 $K_c=0.62$, $C_{le}=1.06$ となり、図6の天空分類から外れる。また、5月27日 ($K_c=0.60$, $C_{le}=1.08$) と7月25日 ($K_c=0.7$, $C_{le}=1.1$) も同様に天空分類から外れることがわかる。

4. CSWDの天空成分比の修正

実測による日射の天空分類はすべて井川らの天空分類図に収まるのに、CSWDの日射はその分類に収まらず、また天空成分比は5, 6, 7月に小さいことが判明した。この理由は、直散分離が適切に行われていないと推測できる。

4.1 Perezモデルの適用

直散分離のモデルではPerez¹¹⁾による分離式が高精度^{15), 16)}である。そこで、天空成分比が実測と異なる5, 6, 7月のCSWDデータから快晴日を抜き出し、Perezモデルで再分離した結果を図9に示す。なお、図に示すのは代表例にとどめる。Perezモデルによる推定値はCSWDの天空日射量の約2.9~4倍となり、CSWDとは明らかに異なる値として分離される。この値を元に天空成分比を求めると0.52~0.57となり、実測のそれとよく一致する。CSWDの1月~9月すべてでPerezモデルによる直散再分離を行い、これで推定された天空日射量を使って求めた月別天空成分比 C_{ep} を表3下段に示す。このとき K_c と C_{le} も、図6の天空状態分類の枠内に収まることわかった。

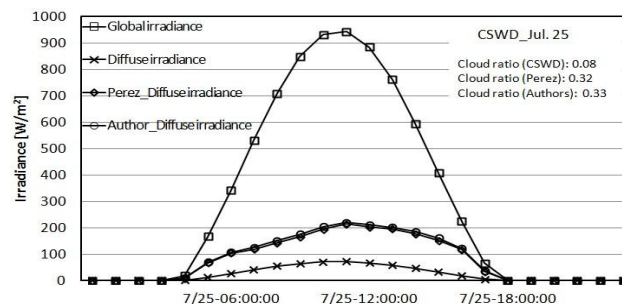
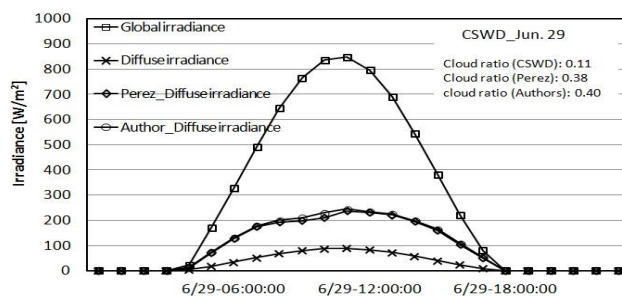
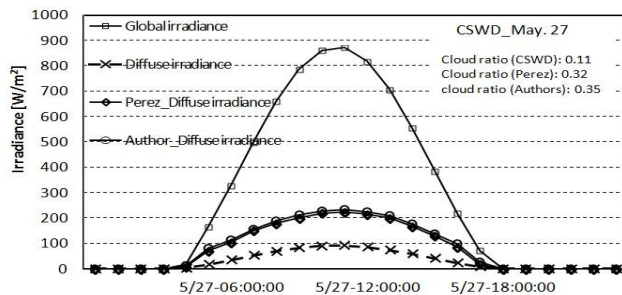


図9 Perezモデルと簡易修正案で修正した天空成分

4.2 簡易修正の提案

Perez モデルは、数千ものパラメトリゼーションによる近似式で構成され、これが明示的に公開されていないため、容易に実行できない恨みがある。もし天空成分比だけの修正で済ますことが可能であれば簡易となるので、天空成分比のみの簡易修正を試みる。

前節までで明らかのように、天空成分比で実測や再分離とズレの顕著な 5, 6, 7 月の各月を対象に、Perez モデルで直散再分離して得た天空日射量と CSWD の全天日射量を用い、天空成分比 C_{ep} を求める。

$$C_{ep} = I_{dp}^* / I_{gc}^*, \quad I_{dp}^* = \Sigma I_{dp}, \quad I_{gc}^* = \Sigma I_{gc}, \quad \Sigma : \text{月積算} \quad (1)$$

I_{dp} : CSWD を Perez モデルで直散再分離して得た毎時天空日射量

I_{gc} : CSWD の毎時全天日射量

つぎに、天空成分比 C_{ep} をしきい値として、CSWD の毎時天空日射量 I_{dc} を以下の 2 つに分類する。

$I_{dc \downarrow}$: $C_{ep} < 0.5$ となる CSWD の I_{dc}

$I_{dc \uparrow}$: $C_{ep} \geq 0.5$ となる CSWD の I_{dc}

表 3 と図 5 でわかるように、CSWD の日射データは天空成分比が 0.5 を大きく下回ることが障害であるから、 $I_{dc \downarrow}$ を修正係数 k で補正できたとすれば、下式が得られる。

$$(\Sigma I_{dc \uparrow} + k \times \Sigma I_{dc \downarrow}) / I_{gc}^* = C_{ep} \quad (2)$$

上式から求めた 5, 6, 7 月ごとの修正係数 k と修正後の天空成分比を表 5 に示す。

この修正係数 k を時間ごとの CSWD の天空日射量に適用し、Perez モデルで推定した天空日射量と比較したものが図 10 である。簡易な修正ではあるが、Perez モデルによる推定値にほぼ等しいことがわかる。この修正された 1 時間天空日射量を使った月別の天空成分比を改めて示すと図 11 となり、改善結果が顕著である。

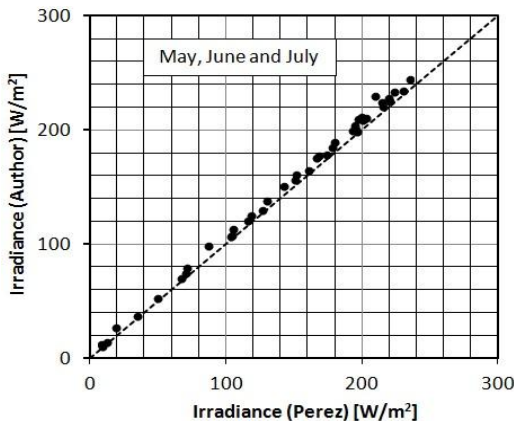


図 10 Perez モデルと簡易修正案の比較

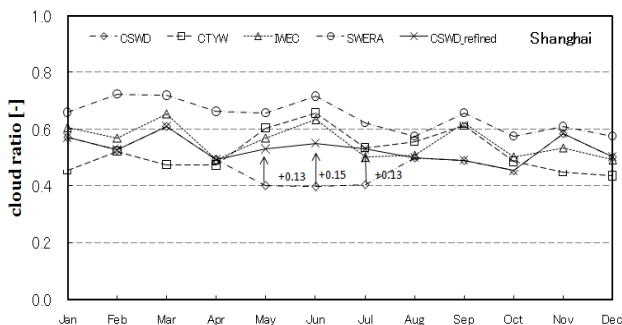


図 11 CSWD 天空成分比の修正結果

5. 結論

本報では、中国上海の標準年気象データ CSWD を他 3 種類の標準年気象データ CTYW・IWEC・SWERA と比べた。結果として CSWD の 5, 6, 7 月の天空成分比は極めて小さいことが判明した。CSWD の天空成分比に対し、高精度の Perez による直散分離モデルを適用すると改善したことを受け、天空成分比のみによる簡易修正法を提案し、これにより CSWD を修正できた。

謝辞

本研究は科研(21560616)の援助を受けた。記して謝する。

参考文献

- 1) Z. Shen et al: Research on the typical meteorological year data of Shanghai for the building energy consumption calculation, HV&AC, Vol.40, No.1, pp.89-94, 2010
- 2) S. Lu, K. Emura and N. Igawa: Statistical characteristics of five sets of standard year weather data in China. Architectural Science Review, Vol.53, Issue 4, pp.415-428, 2010
- 3) M. Collares-Pereira and A. Rabl: The average distribution of solar radiation correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values, Solar Energy, Vol.22, pp.155-164, 1979
- 4) 江億: 空調負荷計算に用いるランダム気象モデル, 清華大学建築技術科学系修士論文, 1980
- 5) L. Benjamin, Y. H. Jordan, and R. Ci: The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse, and total solar radiation, Solar Energy, Vol.4, No.3, pp.1-19, 1960
- 6) 早川一也, 清水浩明: モンテカルロ法による熱負荷計算のための気象データの研究, 空気調和・衛生工学会論文集, No.0, pp.1-12, 1976
- 7) 崔立民ほか: 日射量の推定のための気象データ統計処理, 日本建築学会大会梗概集(環境工学), pp.249-250, 1995
- 8) 張晴原: Gompertz 関数による水平面全天日射量の直散分離に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, No.580, pp.31-37, 2004.6
- 9) E. L. Maxwell: METSTAT-The solar radiation model used in the production of the national solar radiation data base (NSRDB), Solar Energy, Vol.62, No.4, pp.263-279, 1998
- 10) F. Kasten and G. Czeplak: Solar and terrestrial radiation dependent on the amount and type of cloud, Solar Energy, Vol.24, No.2, pp.177-189, 1980
- 11) R. Perez: Dynamic global-to-direct irradiance conversion models, ASHRAE Transaction-Research Series, pp.354-369, 1992
- 12) 赤坂裕ほか: 拡張アメダス気象データ, 日本建築学会, 2000
- 13) N. Igawa, Y. Koga, T. Matsuzawa and H. Nakamura: Models of sky radiation distribution and sky luminance distribution. Solar Energy, Vol.77, pp.137-157, 2004
- 14) F. Kasten: Parametrisierung der Globalstrahlung durch Bedeckungsgrad and Trubungsfaktor, Ann. Meteorol. Neue Folge, Vol.20, pp.49-50, 1984
- 15) E. Emura and K. Emura: Comparison of Several Solar Radiation Models from the Data Collected in Japan, Trans. A. I. J., No.476, pp.19-27, 1995
- 16) 曾我和弘ほか: 全天日射量から直達日射量と天空日射量を推定する各種モデルの比較と評価, 日本建築学会計画系論文集, No.512, pp.17-24, 1998.10

附録:

井川¹³⁾の天空状態の指標の推定式の詳細は以下のよう。

$$K_c = I_g / I_{g0}, \quad Cle = (1 - Ce) / (1 - Ce_s)$$

$$Ce = I_d / I_g$$

$$I_{g0} = 0.84 \times I_0 / m \times \exp(-0.0675 \times m)$$

$$m = 1 / \cos \gamma + 0.50572 \times (96.07995 - \gamma)^{-1.6364}$$

$$Ce_s = 0.01229 + 0.07698 \times m - 0.003857 \times m^2 + 0.0001054 \times m^3 - 0.000001031 \times m^4$$

K_c : 晴天指標 (clear sky index), I_g : 全天日射量 [W/m^2],
 I_{g0} : 基準全天日射量 [W/m^2], Cle : 澄清指標 (cloudless index) [-],
 Ce : クラウド・レイショ [-], Ce_s : 基準クラウド・レイショ [-],
 I_d : 天空日射量 [W/m^2], I_0 : 大気外法線面直達日射量 = 1367 [W/m^2],
 m : 大気路程 [-], γ : 太陽の天頂角 [deg]

[2014年7月28日原稿受理 2015年1月6日採用決定]