

雲量から全天日射量を推定する方法の精度について*

吉 門 洋**

要 旨

雲量から全天日射量を推算することは、瞬間値では困難だが、1時間値であればある程度の精度で可能であろうと考え、同一地方の3地点1年間のデータについて簡単な統計的解析を行ってみた。

その結果、雲量ゼロに対応する日射量値の季節変化は考慮する必要があるが、その地点間の差異や時刻による変化は比較的小さい。雲量と日射量の関係を1次関数で近似した場合、雲量からの日射量推算値と実測値の相関係数は0.8台になる。従って、用途により雲量からの日射量推算は可能であろう。

1. はじめに

日射量は地表面の熱収支や大気境界層の構造を支配する重要な物理量であり、放射研究の専門家ならずとも参照する機会が多い。しかし、日射量が気温のように容易かつ頻繁には測定されないため、他の量との関係式によって推定することも多い。

近年、太陽エネルギー利用に伴う基礎資料の必要性から、菊地原ほか(1985)のような研究が推進されてきた。それによると、全天日射量が一定値を超える日の月間出現頻度は主として日照率によって決定される。日照時間による日射量の推定は従来最も一般的であるが、さらに精度を上げるために水蒸気圧等の関連変数を加えて重回帰分析が行われた。

しかし一方、混合層の発達過程や煙の拡散のパラメータ等に影響する日射量としては、日積算値でなく1時間値のような時間帯別の値が必要になる。例えば発生源から流出する大気汚染質の拡散幅を決める最も一般的な方法として従来用いられてきたパスキルの大気安定度分類は、その時どきの日射量と風速により判定される。しかも、安定度分類に応じて算出される濃度分布は、年間あるいは季節別等の出現頻度を加味し、平均濃度をシミュレートすることにしばしば利用されるため、毎時日射量

のルーチンデータが、時には過去にさかのぼって必要とされる。このような場合、日射量測定データが対象地区で得られず、山地等を隔てた遠方の気象官署に頼らざるを得ないのであれば、むしろ現地における雲量観測結果あるいは単なる天気(晴れ、薄曇り、等)からでも大まかな時間帯別日射量の大小を推定する方が意味があるのではないかと考えられる。接地逆転層の消滅過程や混合層の発達過程における日射の役割等についても、統計的、気候学的な検討を行う場合、このような手法が有用となろう。

日射量と関係づけられる物理量は本来、可降水量と大気混濁係数であり(近藤・三浦, 1983)、観測される量では水蒸気圧あるいは雲量・雲形である。しかし、これらを用いても精度良く日射量を推定できるのは快晴に近い場合のみであり、曇った日の日射量の推定は日積算値に関してしか行われないようである。もちろん日射量の瞬間値は雲が太陽にかかっているかどうか大きく左右され、雲量からの推定は困難であろう。しかし、日射量1時間値なら雲量からある程度の精度で推定することが可能ではなからうか。このような検討は以前から日射量の推定法の研究に際して必ずなされてきたものと思われるが、あまり記述されていない。解析例が示されれば、たとえ高精度ではなくても、目的に応じて利用、あるいは参考にてできると考えられる。林(1982)が若干の問題にふれていたが、データ数に乏しく実相を把握できないきらいがある。今回、1年間のデータについて解析を行ったので参考に供したい。

* On the accuracy of the global solar radiation evaluated from the cloud amount.

** Hiroshi Yoshikado, 公害資源研究所。
—1986年10月13日受領—
—1986年12月15日受理—

第1表 使用データ
(1時間全天日射量, 雲形別雲量)

地 点	期 間	時 刻
仙 台	1975年4月~1976年3月	9 時
		12
		15
福 島	1984年1月~同 12 月	9
		15
山 形	1984年1月~同 12 月	9
		15

2. データ

気象官署による雲量・雲形と全天日射量(以下, 単に日射量と呼び, 記号 R で表す)の測定記録を利用した。全国的に, また数年間にわたって調査しなければ, 気候特性に応じた地域差や年ごとのばらつきは明らかにできないが, ここでは雲量から推定する日射量がそもそもどの程度の精度を有するかを示すことのみを目的とする。数地点の例を検討すれば, 近接地点間でどの程度の差異があるか, また時間変化がどの程度か, なども見当をつけることができよう。

データは日射量と雲量の測定が対応している地点・時刻から選択することになる。日射量は毎時, 前1時間の積算値が記録されるが, その測定は全気象官署で行われているわけではない。また, 雲の観測は3時間ごとのとことと6時間ごととところがある。結局, 第1表に示す7つのデータについて調査することになった。東北地方を選んだ積極的理由は特にない。また, 仙台の期間が他と異なるのは, たまたま手元にあったデータを解析に追加したためである。

雲量は全雲量ではなく雲形別の記録に従い, 次のように加工して用いた。

$$C = (C_b + C_u + S_t + S_c + N_s) + 0.7(A_s + A_c) + 0.2(C_s + C_c + C_i) \quad (1)$$

ここで, 10種雲形の記号はそれぞれの雲量を表すものとする。雲形を下層雲および下層から上層に及ぶ雲, 中層雲, 上層雲というように大きく3つのグループにまとめた理由は, 全雲量を用いたのでは明らかに日光の透過率の異なる種々の雲の差異が全く考慮されず不十分と思われること, しかし反面, 10種雲形を個々別々に扱ってそれぞれ係数を求めてもそれらの数値のおおのにそれは

どの普遍性がないと予想されることである。上の2つの係数0.7と0.2は, C と R の負の相関係数が極大値をとるように予め試行錯誤的に決定した。ただし, 小数点下2桁目はほとんど相関係数に影響しないし, 1桁目でさえそれほど鋭敏ではないので, 1桁目だけを取った。式(1)によると C が10より大きくなる場合もあるが, それは雲が重なっていることに相当し, それだけ日射量が減少するので, C と R の負の相関関係に矛盾しない。しかし, $C > 10$ は最下層の雲に隙間があって上層の雲が観測できたことを示すのに対し, その最下層の雲が全天に広がった場合を考えると, R はさらに減少の方向にあるが C は10となってしまう, C の大小が立体的な雲の多少を反映しないことが予想される。これは雲量が地上の1点から観測されるものである限り避けられない欠陥である。

この他, C が1時間平均値でない点が R の測定と対応せず, 誤差を生む原因になる。

3. 解析手順と結果

日射量 R は C と次のように関係づけられる。

$$R = R_0 \cos z \cdot f(C) \quad (2)$$

ここで, $R_0 \cos z$ は雲がない場合の日射量であり, 大気による吸収や散乱の影響も含むものとする。 $f(C)$ は雲量の影響を表わす関数であって, $f(0) = 1$ である。 z は太陽の天頂距離であり,

$$\cos z = \sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos t \quad (3)$$

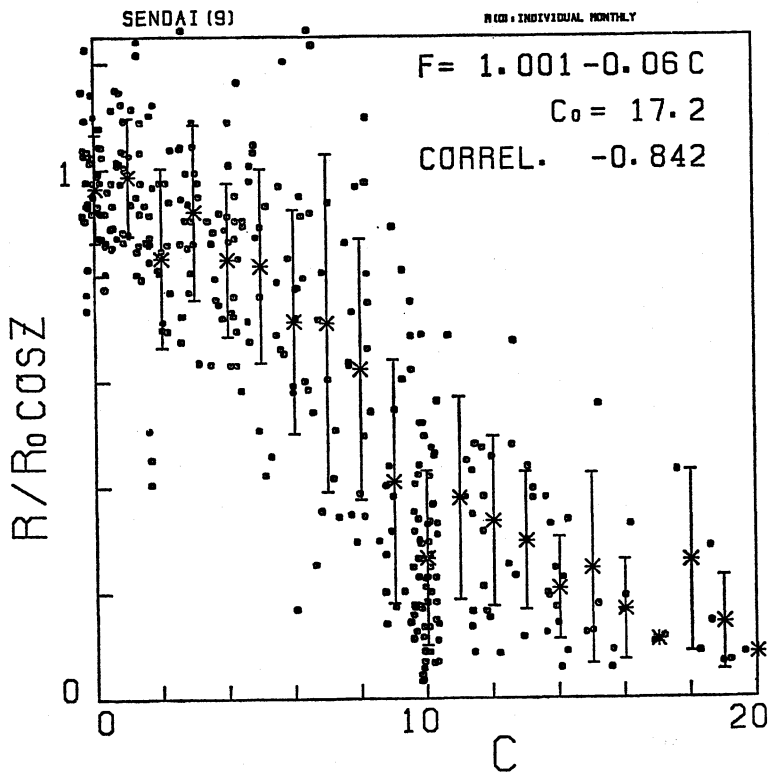
で与えられる。 ϕ は緯度, δ は太陽赤緯, t は時角である。

本解析では春分をはさむ30日(3月7日~4月5日)を3月とし, 年間を均等に12カ月に分けて, 月別に C と $R/\cos z$ の相関関係を求めた。その際, t の季節変化を細かく考慮することは困難なので, 春分をはじめ毎月の中日の値を月間通して用いた。例えば, 12時の日射量に対応する時角は11時30分 ($t = -30$ 分) とするのがよさそうだが, 対象地域の春分の太陽南中時刻は11時44分頃なので, 3月中は $t = -14$ 分 (-3.5°) とした。

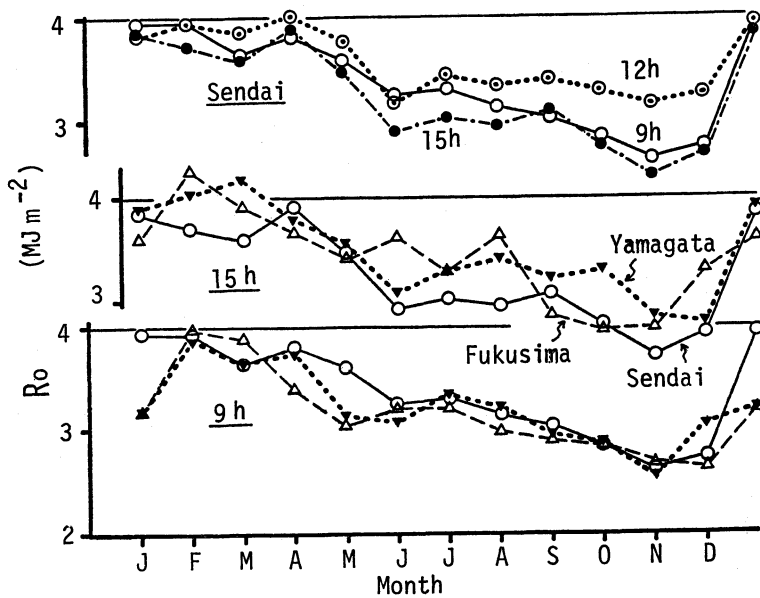
(2) 式の R_0 を決定するため, 第1次近似として

$$f(C) = 1 - C/R_0 \quad (4)$$

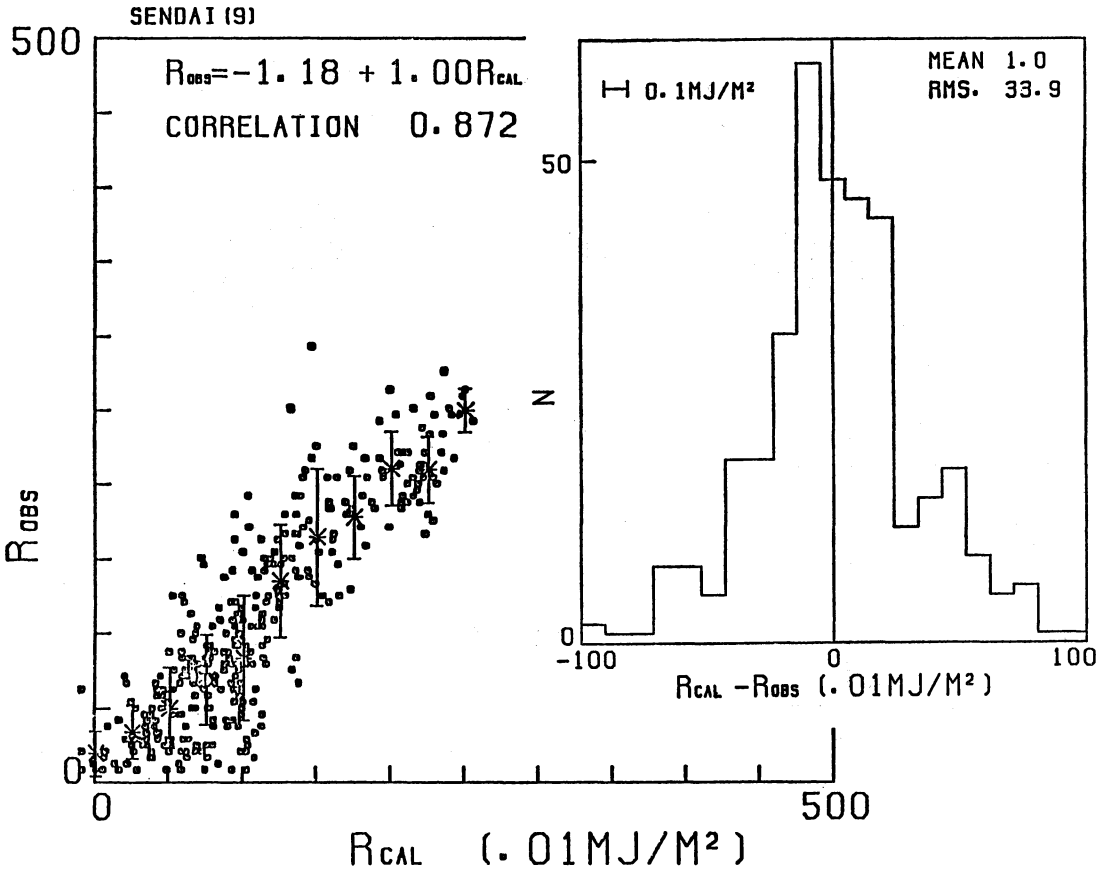
を仮定した。最小自乗法によって月別の R_0 を決定し, これで R を正規化して, 年間の C と $R/R_0 \cos z$ の関係を示したのが第1図である。前章の末尾近くで述べたように, $C = 10$ のところでは, 下層雲に隙間があってその上の中・上層雲がほぼ全天をおおっていることが観察



第1図 C と正規化された日射量 $R/R_0 \cos z$ の関係の1例。仙台の9時の場合。図中の星印と線分は区間平均と標準偏差を示す。プロットは重なりを避けるため左右に多少のばらつきを加えてある。



第2図 雲量ゼロに対応する全天日射量 R_0 の地点別・時刻別季節変化。(上)時刻による対比,(中,下)地点間の時刻別対比(仙台は上と重複)。



第3図 雲量から計算された日射量 R_{cal} と実測値 R_{obs} の関係の1例。仙台の9時の場合。表現法は第1図と同じ。誤差の分散を右枠内に示す。

第2表 雲量から推算した日射量と実測日射量の年間相関係数 R と誤差が $0.5 MJm^{-2}$ 以内に納まる率 E (%)

地点・時刻	R_A	E_A	R_B	E_B
仙台 9時	0.872	85	0.869	84
12	.834	66	.835	62
15	.870	83	.868	82
福島 9	.846	85	.844	83
15	.838	83	.836	82
山形 9	.870	88	.868	87
15	.846	83	.845	82

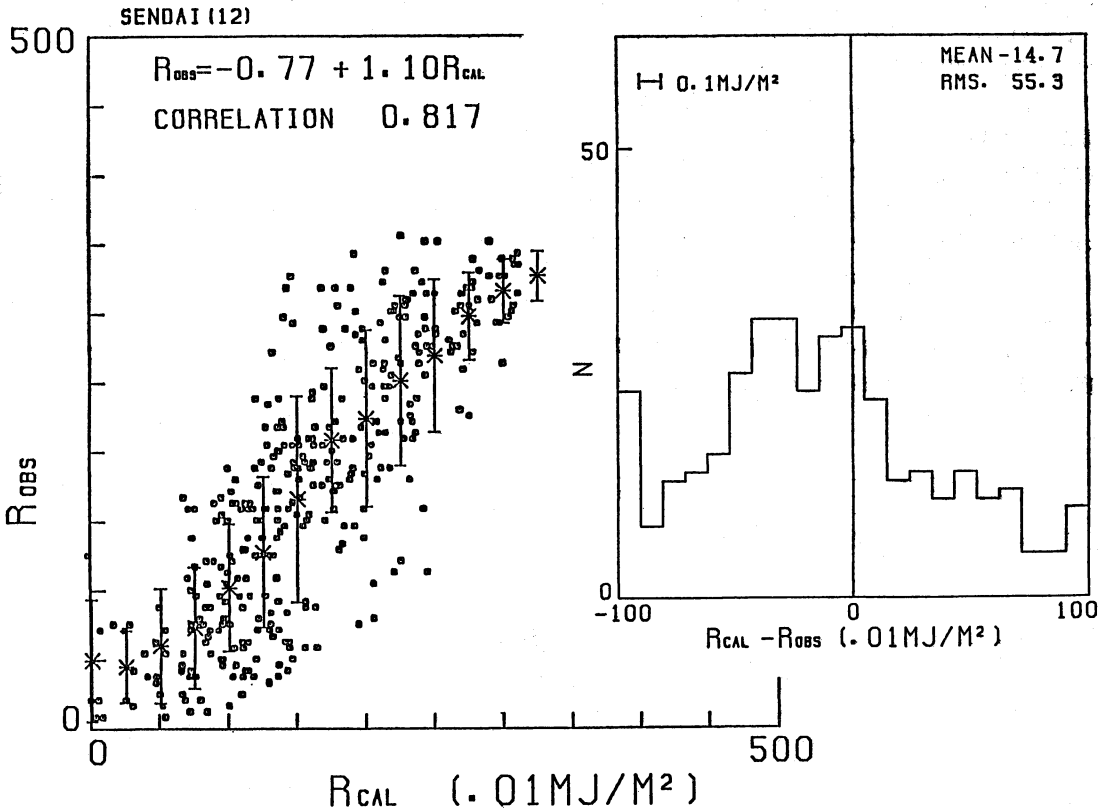
添字A: 各地点, 各時刻の C と R の相関関係から求められた C_0 , R_0 を用いた場合.

B: $C_0=18$ とし, 3地点平均の R_0 を用いた場合.

された状況での $C > 10$ に比べてむしろ日射量が少ない場合も多く, 特異性を示している. しかし, この点を除けば (4) 式のように1次関数で近似してもよさそうである.

なお, 月別の R_0 の値を第2区に示した. これによると最も目立つのは季節変化であり, 地点間の差異は比較的小さい. 特に暖候期の9時については, 仙台のみ年度が異なるにもかかわらず, 他の2地点とほぼ等しい. 仙台について時間変化を見ると, 太陽高度の大きい12時の値が他の時刻より大きくなる傾向が出ている.

さて, 第1図に示したような C と R の年間相関から決まる C_0 と月別 R_0 を用いて, 雲量から (2) 式と (4) 式によって計算される日射量 R_{cal} を, 実測の日射量 R_{obs} と対比させると第3図のようになり, この例では誤差 $0.25 MJm^{-2}$ 以内に64%, $0.5 MJm^{-2}$ 以内に85%が収まっている. 相関係数は他の例も含めて第2表の第



第4図 地域平均の R_0 , C_0 を用い、9時と15時の C の平均値から推算された仙台の12時の日射量 R_{cal} と実測値 R_{obs} の関係。他は第3図と同じ。

1列に示した。この程度の誤差であれば、第1章に例示したパスケル安定度分類のように大まかな日射量の大小を決める場合に誤判定を与える率は小さい、安定度分類に応じた拡散幅を用いて年平均の濃度等を求める場合には、最終段階の誤差はさらに小さくなるであろう。

次に、第2図に見たように R_0 および C_0 の性質が近接地域では大差ないものであれば、目的地点の R_0 がわからなくても雲量観測データのみから日射量を推定できることになる。その場合の精度について検討する。 R_0 としては第2図に示した時刻別の3地点平均値を用いた。ただし、12時については仙台の値しかないため、それを用いず、9時と15時の3地点平均値を平均して用いた。 C_0 としては第1図などからの大まかな平均値である18を用いた。その結果は地点別・時刻別の R_0 , C_0 を用いた第3図などに比べると当然ながら R_{cal} と R_{obs} の相関係数は全般に低下するが、大幅な変化ではない(第2

表 R_B)。目的地点の R_0 , C_0 がわからない場合に、近隣地域で得られた平均的な値を用いても、それほど結果に遜色はないといえる。

さらに、雲量データさえも、その観測時間間隔が大き過ぎる場合に、それを補間計算して中間時間の日射量推定に用いることを想定してみた。 R_0 , C_0 としては上と同じ平均値を用い、仙台の9時と15時の C の平均値から12時の日射量を推算した。12時の日射量実測値との対比を第4図に示す。誤差は多少大きくなるが、なお相関係数は0.82と比較的高い水準を保つので、ある程度の参考には供し得るであろう。

4. 結語

雲形別雲量観測値と全天日射量1時間値の関係を調べ、雲量から日射量を推算した場合の誤差について検討した。雲量ゼロに対応する日射量は季節変化が大きい

が、近隣地域内での地点差は無視できる程度であった。また、その太陽高度による変化も認められたが、季節変化に比べれば重要ではない。

しかし、そもそも雲量には雲の厚さや重層についての情報が欠けているうえ、1時間平均ではなく瞬間値しか記録されないため、これから推算する日射量と実測日射量の相関係数は0.8台にとどまる。ここでは雲量と日射量の関係を1次式で近似した。下層雲の雲量が10の場合に特別な補正を加えるなどの工夫をすれば結果はもっと改善されるであろうが、大幅な変化は期待できない。

ともかく、雲量と日射量の平均的な関係とその相関の程度、およびそれらが地点間でどの程度異なるかがわか

ったので、用途に応じて、日射量の大きな推算に雲形・雲量の観測値を利用することは可能だと言ってよからう。

文 献

- 菊地原英和, 篠木誓一, 吉田作松, 1985: 日別全天日射量階級別日数の全国マップ作成(Ⅱ) 日別全天日射量階級別日数の推定と全国マップ作成, 天気, 32, 301-309.
 近藤純正, 三浦 章, 1983: 地表面日射量の実験式と日射計をチェックする簡便な方法. 天気, 30, 469-475.
 林 正康, 1982: 日射量と雲量. 公害, 12, 285-289.

第5回エアロゾル科学・技術研究討論会講演および参加募集のお知らせ

主 催 エアロゾル研究協議会
共 催 静電気学会, 日本気象学会, 日本空気清浄協会, 日本産業衛生学会, 日本大気電気学会, 日本粉体工業技術協会, 粉体工学会・エアロゾル部会
協 賛 応用物理学会, 化学工業協会, 空気調和・衛生工学会, 国際エアロゾル医学会日本支部, 大気汚染研究協会, 日刊工業新聞社, 日本保健物理学会, 日本防菌防黴学会

第5回研究討論会を下記により開催することになりました。今回も、これまでどおり、いろいろな分野のエアロゾル研究にかかわりをもつ研究者・技術者の研究交流と情報交換の場にしたと考えておりますので、多数のご発表とご参加をお願い致します。

なお、6月には研究討論会のプログラムおよび参加募集のご案内を改めてさせていただきます。

記

日 時 昭和62年8月19日(水), 20日(木)(夜 懇親会), 21日(金)
会 場 筑波研究学園都市研究交流センター(科学技術庁) TEL 0298-51-1331
 茨城県新治郡桜村竹園2-20-3
 (エアロゾル関連機器・カタログの展示会も併設します)

講演募集分野 エアロゾルに関する全分野を含みますが、一応次の分野に従ってお申し込み下さい。
 1) 生成と性状(焼燃を含む) 2) 測定 3) 動力学と沈着現象 4) エアフィルターと集じ

ん 5) 大気エアロゾル 6) 生体影響 7) 室内エアロゾル 8) クリーンルーム 9) エアロゾルの利用(医用, 薬用, 工業用材料) 10) その他

講演種別 1) 未発表の研究 2) 既成研究のまとめ 3) 最近既発表の研究

講演要旨原稿 日本語または英語。(日本語の場合はアブストラクト, 図, 表, 文献名は英語とします)。オフセット印刷。

講演発表 OHP を主とします。スライドを使用される場合は、挿入および操作等は各自でお願いします。

講演時間 申込件数に応じて調整させていただきます(15分前後)。

講演申込締切 昭和62年5月9日必着

講演要旨原稿締切 昭和62年7月15日必着

講演申込要領 申込書を下記に請求し、所定の事項を記入して下記へお送り下さい。

〒606 京都市左京区田中関田町2-7

思文閣会館33号

エアロゾル研究協議会 (TEL 075-751-0195)

討論会参加費 個人会員および賛助会員(ただし3名以内) 5,000円, 学生3,000円, 共催および協賛会員7,000円, その他15,000円

(ただし、申込締切後は1割増)

懇親会参加費 4,000円

参加申込締切 昭和62年8月8日