

放射収支計 CNR1 の特性について(第二報)

長井勝栄*・長沼 弘*

On the Net-Radiometer CNR1 (Part II)

Katsue NAGAI and Hiroshi NAGANUMA

要旨

放射収支計 CNR1 には、一度に放射収支量を測定するモード(NRM)と、4つのセンサ出力を個別に測定するモード(4SCM)の2種類の測定モードがある。第一報では NRM での特性を述べたが、第二報ではさらに精査するため個々のセンサ単独の特性を評価できる 4SCM について調査した。

CNR1 の NRM で設定したセンサの感度は、個々のセンサの観測値として使える感度にはならず、4つのセンサの誤差バランスをとった感度となっている。この誤差は天候、風、気温などに影響を受け原因を特定しにくい。

4つのセンサ個別に感度を検定して収支量を求めると、NRM で感度を設定した時よりも誤差が大きくなる。これは CNR1 の下向き長波長放射計のシリコン窓加熱、反射日射などの測器温度差の影響による上側と下側の測器の出力の差が影響している。

NRM, 4SCM のどちらも精度の良い測定をするためには、測器の全体の温度を一定にする必要があり、そのためには測器全体を覆う通風装置が必要である。

1. はじめに

放射収支計 CNR1 には、一度に放射収支量を測定するモード(NRM)と、4つのセンサ出力を個別に測定するモード(4SCM)の2種類の測定モードがある。第一報(長沼・廣瀬：2003)では NRM での測定から、放射収支合成値に対する差は従来の放射収支計 CN11 に比べて半分程度であるが、夜間の結露の影響が大きく結露対策が必要であることを述べた。その中で、校正式の作成で合成値との相関に明らかに系統的なズレが生じる場合があり、校正式に補正項が必要となる時があった。この補正項が各センサの感度が正確に一致していない場合に生じる可能性があることと、結露対策のヒーターや通風装置による影響調査の準備のため、第二報では個々のセンサ単独の特性を評価できる 4SCM での測定を調査した。

CNR1 に付いているセンサは、短波長(日射)領域に CM3、長波長領域に CG3 が使われている(Kipp & Zonen：1997)。以下では、CNR1 の全天日射を CM3upper、下向き長波長放射を CG3upper、反射日射を CM3lower、上向き長波長放射を CG3lower と呼ぶ(写真 1)。

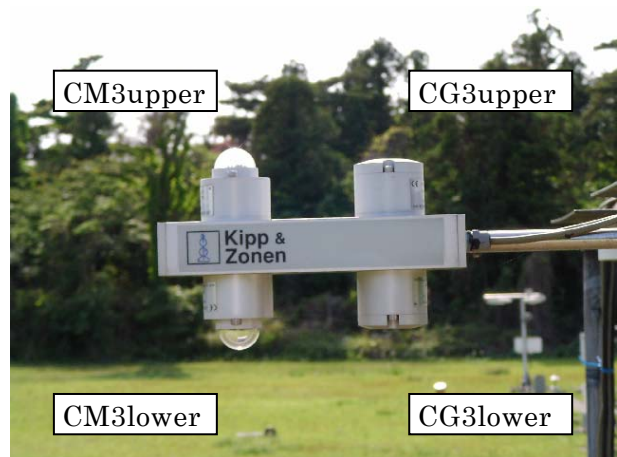


写真 1 放射収支計 CNR1 の概観

2. 比較観測

2003 年 9 月 3 日以降 CNR1(測器番号 970041)を比較観測のため 4SCM で測定を行っている。

測器は露場の上向き長波長放射および反射日射を測定している高さ 2.2m の支柱に取り付け、付属のパイプで支柱から約 1m 離して設置した。

測定は BSRN データ収録装置(廣瀬ほか：1998)により行

* 高層気象台 観測第三課

い、比較には1秒測定値を1分平均した値、および1分平均値を積算した積算値を用いた。

比較対象となる基準の測定に用いた測器は以下の通り

下向き成分

直達日射：直達日射計(Kipp & Zonen CH1)

散乱日射：全天日射計(Kipp & Zonen CM21 および CM22)

全天日射＝直達日射の水平面成分＋散乱日射

下向き長波長放射：赤外放射計(Epply PIR)

上向き成分

反射日射：全天日射計(Kipp & Zonen CM21)

上向き長波長放射：赤外放射計(Epply PIR)

とし、放射収量は以下で求めた。

放射収支＝全天日射＋下向き長波長放射

－反射日射－上向き長波長放射

3. 比較結果

基準との比較には、主に9月4日から12月31日の時間積算値を用いた。

以下では基準との比較で係数を算出している。この係数は、「CNR1 センサ出力値(J/m²)＝係数×基準値(J/m²)」である。「CNR1 センサ出力値(J/m²)＝出力電圧値(V)／感度(V/W/m²)×時間(s)」なので、この係数は「基準値(J/m²)＝出力電圧値(V)／(係数×現在の感度(V/W/m²))×時間(s)」のように考えると、正しい感度に補正するために感度に掛ける係数と言える。

3.1 NRM での比較

図1は9月から11月の比較的天候の良い日5日間の、4SCM で測定したものを足し合わせた値(NRM 相当)での観測値(y)と基準の観測値(x)の1分値の比較である。露が付いていたと推定される時間のデータを除いて図示すると、収支値はほぼ1対1の関係にある。第一報の時には、この形式での比較から感度を求めた。CNR1は4つのセンサがメーカーで同じ感度に調整されているので、この後の4SCMでのそれぞれのセンサの比較にも、全てこの感度を用いることにした。

日別積算値で比較したのが図2である。図1と同様に露が付いていたと推定される日は除いている。さらに、雨により雨滴の影響を受けていた日(白四角)を除くとデータ数は1/4ほどと少なくなるが、係数1.03となった。

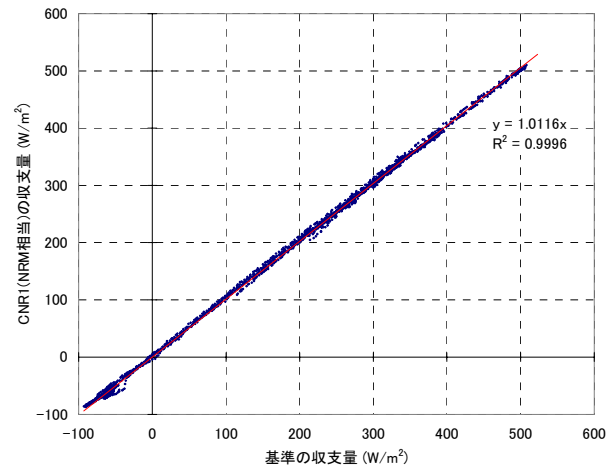


図1 CNR1(NRM 相当)と基準の収支量の比較
(7月～11月の比較的天候の良い日5日間)

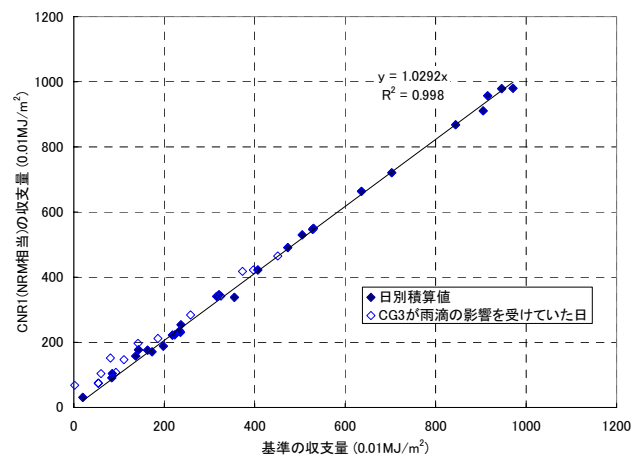


図2 CNR1(NRM 相当)と基準の収支量の日別積算値の比較

3.2 4SCM での比較

図3に2003年9月30日の各センサと基準の1分平均値の差を示す。この日は1日中晴れていた日である。夜間には基準値との差は0W/m²に近い値であるが、日中CM3upperで約-40W/m²、CG3upperで約+20W/m²、CM3lowerで約+15W/m²、CG3lowerで約+5W/m²の差であった。この原因については後で述べる。なお、CM3lower、CG3lowerのセンサの差はマイナスだが、収支値を求めるときは引き算なので、符号が逆転する。

CNR1それぞれのセンサの特性をみるために、図4に全天日射と反射日射の日別積算値の基準値との比較、図5に下向き長波長放射と上向き長波長放射の夜間6時間積算値と基準値との比較を示す。なお、図5の長波長放射は、18時から24時の結露の出ていない日で、CG3の受光面自体が放出する長波長放射量を引いた値である。

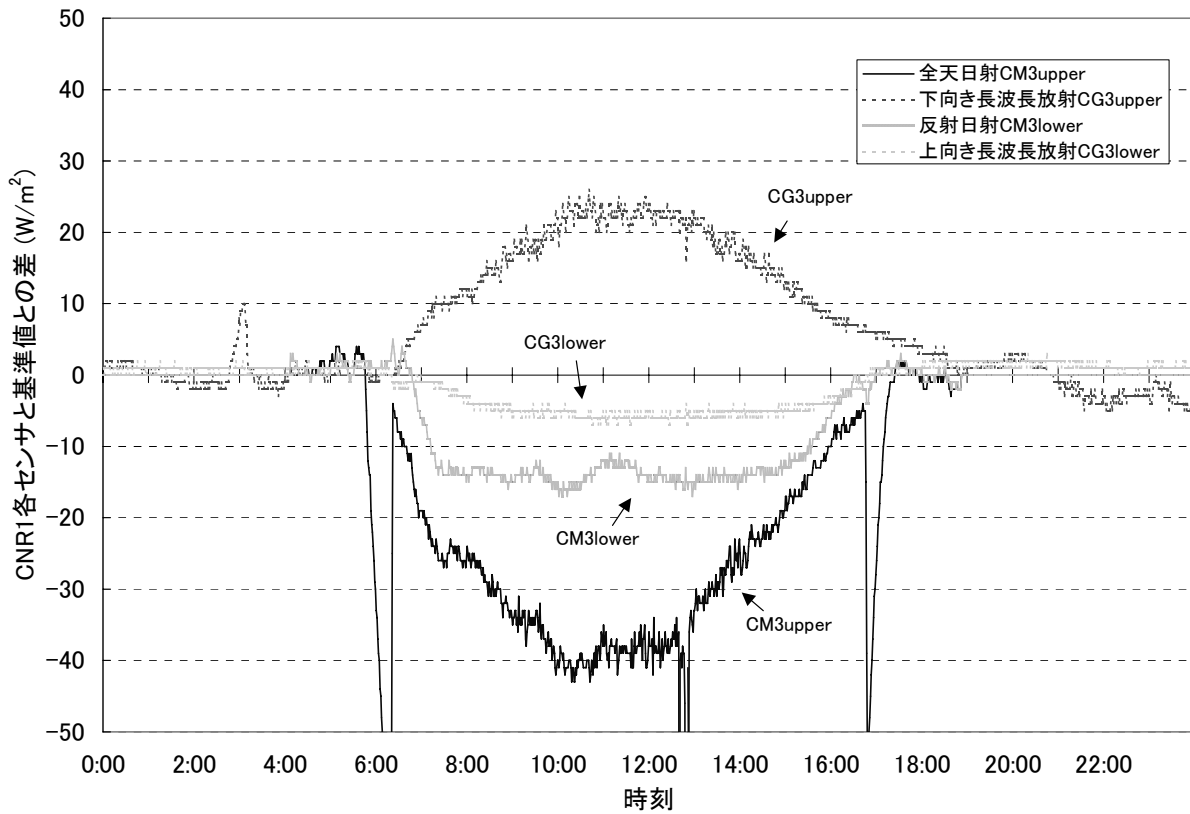


図3 2003年9月30日(晴れた日)のCNR1の各センサと基準の1分平均値の差

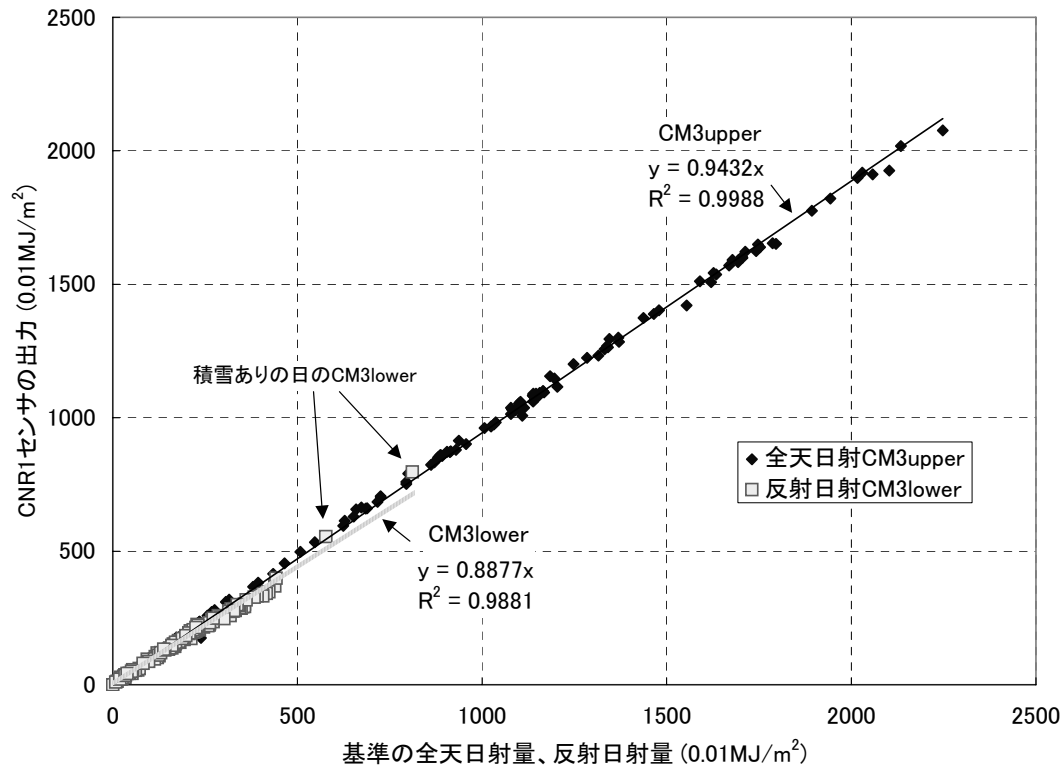


図4 全天日射と反射日射におけるCNR1センサと基準の日別積算値での比較

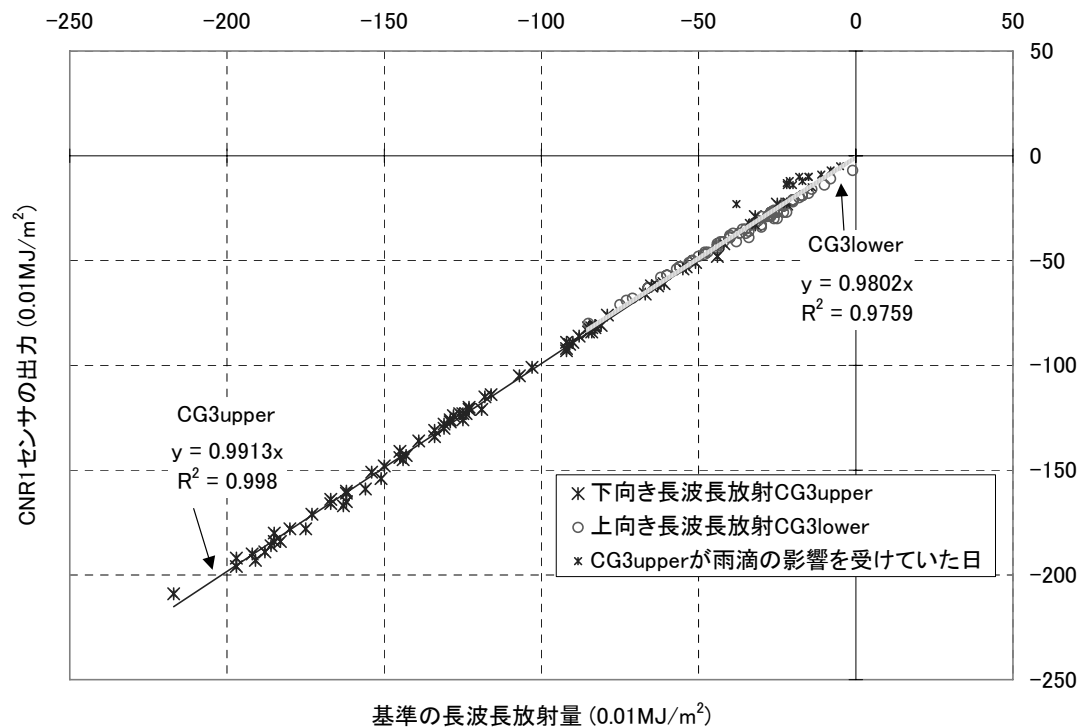


図5 下向き長波長放射と上向き長波長放射における CNR1 センサと基準の夜間 6 時間積算値での比較
(18 時から 24 時の結露の出ていない日で CG3 の受光面自体が放出する長波長放射量を引いた値)

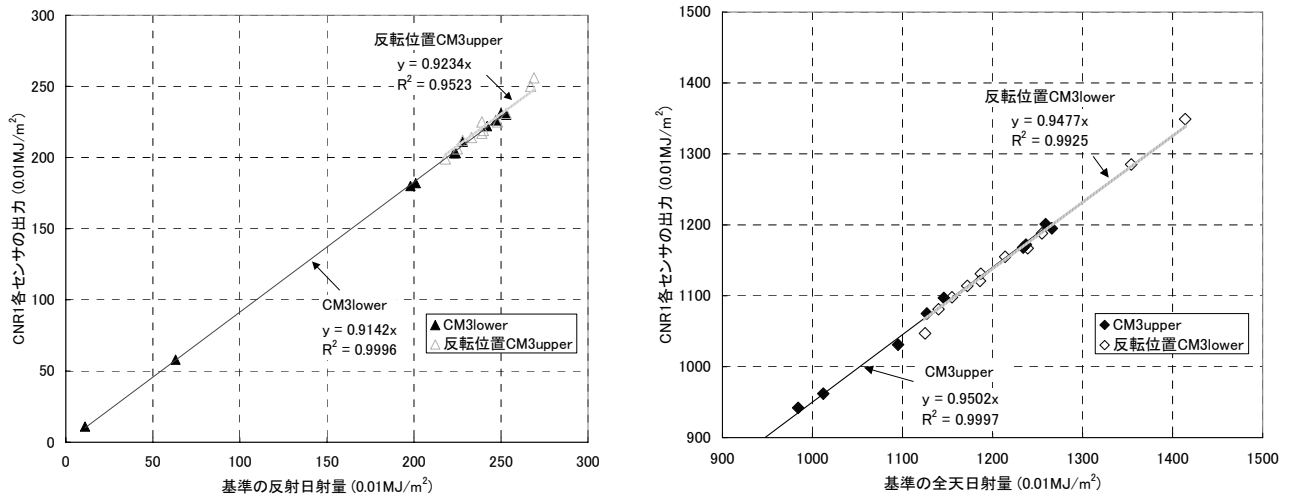


図6 CM3 センサと基準の 9 時から 15 時の 6 時間積算値での比較
(2004 年 2 月 1 日～2004 年 2 月 23 日)
左 上向き日射 右 下向き日射

3.2.1 全天日射 CM3upper

図4に示すように観測値はほぼ直線上にあり、CM3upperの基準の全天日射量に対する係数は0.94である。これは、NRMで設定した感度と実際の個別センサの感度

は異なることを示している。CM3upperが小さくなるのは、図3で示したような日中のCM3upper以外の基準の収支量に対してプラスの差にはたらく分を打ち消すために、NRMの感度が低くなるためである。

図 3 で示した日の日中はおおよそ 750W/m^2 なので、約 $-45\text{W/m}^2(6\%)$ の差が出る。

3.2.2 下向き長波長放射 CG3upper

図 3 に示すように 1 日の傾向は、CG3upper は日中にかけて基準より大きい傾向があり、最大約 $+25\text{W/m}^2$ 出ている。これは、基準器は直射を遮る装置があり、ドーム温度も測定して補正しているのに対し、CG3upper はそれらが無いため直射日射などにより暖められたシリコン窓からの 2 次放射を観測しているためと考えられる。

図 5 から CG3upper の基準の長波長放射量に対する係数は 0.99 である。 -20W/m^2 付近で CG3upper の方が大きく出ているのは雨天の日の例で、CG3upper の入射窓が平らで水滴が流れにくく、通風ファンもついていないため、雨で溜まった水滴が長波長放射を遮っていたためと考えられる。

3.2.3 反射日射 CM3lower

図 4 に示すように、基準値と比較すると係数が 0.89 である。出力が日 2.50MJ/m^2 より小さいときには CM3upper の係数 0.94 の直線上に、それを超えるような時はその直線より低くなっている。また、積雪がある日は CM3upper と同じ直線上に乗っている。

この変化の原因が CM3upper、CM3lower 個別のセンサの故障や感度変化にあるかを確かめるために、上下を反転して観測したのが図 6 である。塗りつぶしは通常位置、中抜けは反転位置である。観測場所などの影響が無いように太陽高度角の高い 9 時から 15 時の 6 時間積算値で比較した。通常位置でも反転位置でもほとんど同じ直線上にあり、個別のセンサの故障や感度変化が原因ではないと考えられる。

出力が日 2.50MJ/m^2 より大きい時に CM3lower が小さくなる原因として、測器上部面は直射日射があたり、上部センサ、ボディヒートシンクが暖められるのに対して、下部面は日陰のままであまり暖められないため、ボディヒートシンクと下部センサ間に反射日射以外が原因の温度差が生じたためと考えられる。また、積雪のある日は、反射日射が強く下部面も日向のような状態になり、下部面の温度も上部面同様に暖められていたため CM3upper の係数 0.94 の直線上になったと考えられる。

図 3 で示した日の日中はおおよそ 150W/m^2 なので、係数 0.94 で考えると約 -10W/m^2 の差が出る。残りの約 -5W/m^2 が温度差によるものと考えられる。

3.2.4 上向き長波長放射 CG3lower

図 3 に示すように、CG3lower は日中に約 -5W/m^2 小さくなっている。これは、CM3lower と同様に日中にボディヒートシンクと下部センサ間に上向き長波長放射以外が原因の温度差が生じて、差が出ているためと考えられる。

係数は、図 5 の通り基準の長波長放射量に対し係数 0.98 である。

3.3 合成値

以上の結果から、感度の係数は CM3 の短波長放射で約 0.94、CG3 の長波長放射で約 0.99 となり、短波長放射と長波長放射で若干の感度差が見られた。メーカーでは同じ感度に調整されているのに、この差が現れたのは、長波長放射計の基準となる測器の違いによる可能性があるが、原因は調査中である。

それぞれの測器でこの係数を補正するように感度を調整して収支量を求めたのが図 7 である。それぞれの測器

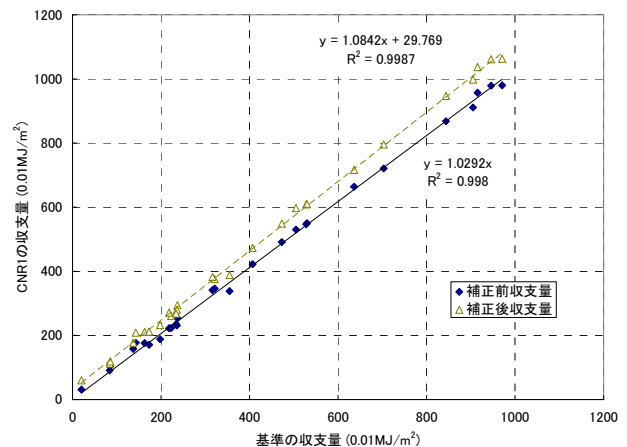


図 7 CNR1 の各センサ感度の補正前と補正後の収支量の日別積算値の比較

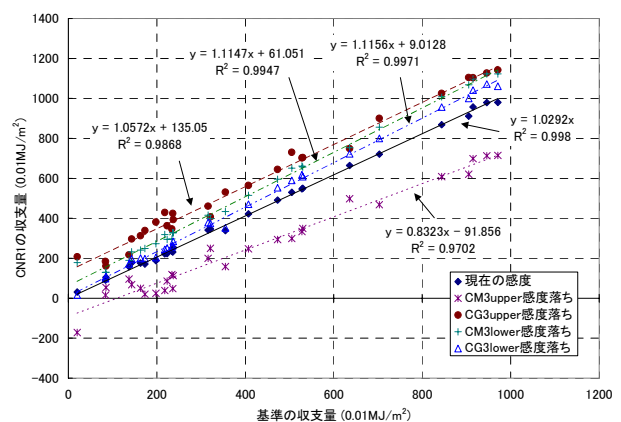


図 8 CNR1 の 4 つのセンサのうち、1 つのセンサの感度が 20%低下した場合の収支量の日別積算値の比較

で補正係数をつけた方が基準値から離れてしまう。これは、CG3upper の日中のシリコン窓からの 2 次放射出力の影響が大きく効いている。

次に、CNR1 の 4 つのセンサのうち、1 つのセンサの感度が 20%低下した場合に収支量はどのようなになるのかを示したのが図 8 である。感度が 20%低下するというのは極端な例であるが、係数が変わるほか、切片が 0 付近を通らない場合が多い。このような感度変化が第一報での校正式に補正項を生じさせた可能性が高いが、第一報で明らかに系統的なズレがあった測器を使用することができなかったため、実際どのような変化が起きていたかはわからない。また、センサが 4 つもあり複数のセンサに感度変化が起きている場合もあるので、補正項の値からではどのセンサにどのような感度変化が起きているか判別するのは難しい。NRM での比較から補正項が必要となる場合は、4SCM で各センサそれぞれを調べる必要がある。

4. まとめ

出荷時に上下のセンサを同じ感度に調整していることもあって、上下間のそれぞれの同じセンサではほぼ同じ感度値であった。しかし、短波長放射計と長波長放射計では、基準の測器との比較係数が若干異なっていた。

日中の出力は、測器本体の上部についているセンサと下部についているセンサで異なる傾向を示した。これは、上部のシリコン窓の加熱による 2 次放射や、下部センサとボディヒートシンク間に反射日射、上向き長波長放射以外が原因の温度差が生じるためと考えられるが、原因を特定するためには測器各部の温度分布を詳細に測定する必要がある。

CM3upper の感度過小により約 -40W/m^2 、CG3upper の直射日射により暖められたシリコン窓からの 2 次放射による効果で約 $+20\text{W/m}^2$ 、CM3lower の感度過小およびヒートシンク加熱熱平衡により約 $+15\text{W/m}^2$ 、CG3lower のヒートシンク加熱熱平衡により約 $+5\text{W/m}^2$ によりバランスが取れて収支値として誤差が小さい状態になっている。しかし、この差は天候、風、気温などに影響を受け原因を特定しにくい。また、校正式で補正項を必要とするような場合は、どれかのセンサに感度変化が起きている可能性がある、今後その感度変化を注意深く監視していきたい。

いずれにしても天候等の影響を小さくし、精度の良い測定をするためには、測器の全体の温度を一定にする必要があり、そのためには測器全体を覆う通風装置が必要である。

謝 辞

本稿を草するに際し、放射収支計 CNR1 のこれまでの検定・調査に尽力された気象研究所気象衛星・観測システム研究部の廣瀬保雄主任研究官、助言を賜った当台観測第三課の多田一正課長に厚くお礼申し上げます。

引用文献

- 廣瀬保雄・宮川幸治・田森俊彦・能登美之(1998): BSRN のための放射観測データ取得・処理システムの開発. 高層気象台彙報, **58**, 11 - 24.
- Kipp & Zonen (1997): Instruction manual CNR1 net-radiometer. Kipp & Zonen Inc., Netherlands, 42pp.
- 長沼弘・廣瀬保雄(2003): 放射収支計 CNR1 の特性について(第一報): 高層気象台彙報, **63**, 19 - 24.

NRM 測定モードによる感度付けでは、晴天時の日中に