水文・水資源学会誌
J. Japan Soc. Hydrol. & Water Resour.
Vol. 10, No. 1 (1997) pp. 66-78

中国における地表面熱収支・水収支

(1) 中国～日本の放射量分布

Heat and water balances of the ground surface in China

(1) Geographic and seasonal distributions of radiation fluxes in China and Japan

近藤純正*・徐 健青* (東北大学理学部)

Junsei Kondo・Jianqing Xu

Geophysical Institute, Tohoku University

Monthly mean values of the solar radiation and effective longwave radiation fluxes were estimated for 30 stations in China. With reference to the radiation data at 66 stations in Japan, the map of geographic distribution has been presented in an area of China and Japan. The solar radiation and effective longwave radiation fluxes is large in the arid region and Tibetan plateau, and small in humid regions.

The net radiation fluxes were also estimated for four kinds of bare soil grounds. At a sandy ground, the amount of evaporation is small and the surface temperature is high, so the net radiation is small. At a loamy ground with a large capacity of water content, the amount of evaporation is large and the surface temperature is low, so the net radiation is large. The annual mean net radiation at a loamy ground is about 1.6 times as large as those at a sandy ground.

Key words: Atmospheric radiation, Bare soil ground, Effective atmospheric radiation, Heat balance, Solar radiation, Radiation

中国の30地点について日射量と有効大気放射量の月平均値を算定した。日本の66地点における値も参考にして、放射量の地理的分布図を作成した。日射量と有効大気放射量は中国の乾燥域と標高の高いチベット高原では多いが、中国の湿潤域と日本では少ない。さらに、4種類の土壌の裸地面について正味放射量を計算した。砂地では蒸発量が少なく地表面温度が高くなるので、正味放射量は小さい。保水性のよいローム土壌では蒸発が盛んで地表面温度が低く、正味放射量は大きい。ローム土壌における年平均正味放射量は砂地における値の約1.6倍である。

キーワード：大気放射量、日射量、放射量、熱収支、裸地面、有効大気放射量

I. はじめに

アジア地域に住む人々の生活はモンスーン気候とその変動に大きく依存している。モンスーンの変動に伴う干ばつや洪水は、この地域にしばしば深刻な被害を与えている。地球の気候とその変動を担う大気・水圏でのエネルギー・水循環の仕組みの解明と、水資源・水利用に与える影響の予測のための基礎的研究「アジアモンスーンエネルギー・水循環研究観測計画」(GEWEX Asian Monsoon Experiment, 略称

GAME)がアジア各地で推進されている。その中には4つの特定地域研究プロジェクトがあり、中国において行なわれるものとして、淮河流域日中共同研究観測計画HUBEX(Huaihe River Basin Experiment: 亜熱帯湿潤域研究)と、チベット高原地域研究(GAME-Tibet)がある。

これらの研究に必要なデータは、地表面での熱収支・水収支に関するデータである。しかしながら多様な地表面状態において、これらデータを広域かつ長期にわたり高精度で収集することは非常に難しい

*東北大学理学部地球物理学教室 〒980-77 仙台市青葉区
Geophysical Institute, Tohoku University, Sendai, 980-77, Japan.

表一 1 中国の観測所名, 国際地点番号, 緯度・経度, 標高, 及び1981年の平均気圧など
最初につけた記号 [S] : 冬期積雪域, [C] : 大都市, [A] : 乾燥域, [R] : 地方, [T] : チベット高原

No.	Station Name	Index No.	Lat °N	Long °E	Elev m	p hPa	T °C	e hPa	Pr mm/y
(1) [S]	ハイラル(海拉爾: Hailar)	50527	49.2	119.8	613	942	-2.1	5.7	353
(2) [S]	ブグト(博克図: Bugt)	50632	48.8	121.9	739	926	-0.8	5.4	564
(3) [S]	ハルビン(哈爾濱: Harbin)	50953	45.8	126.8	142	997	3.8	8.0	665
(4) [S]	アルタイ(阿勒泰: Altay)	51076	47.7	88.1	735	934	4.0	6.1	228
(5) [S]	フーユン(富蘊: Fuyun)	51087	47.0	89.5	824	926	3.2	5.1	175
(6) [S]	ウルムチ(烏魯木齊: Urumqi)	51463	43.8	87.6	918	915	6.6	6.1	273
(7) [A]	トルファン(吐魯番: Turpan)	51573	42.9	89.2	35	1013	14.3	7.4	14
(8) [A]	ホータン(和田: Hotan)	51828	37.1	79.9	1375	863	12.2	6.6	50
(9) [A]	アンディル(民豊安得河: MA*)	51848	37.9	83.6	1263	874	10.5	5.5	39
(10) [A]	トゥンホワン(敦煌: Dunhuang)	52418	40.2	94.7	1139	888	9.1	6.0	64
(11) [A]	チウチュワン(酒泉: Jiuquan)	52533	39.8	98.5	1477	853	6.8	6.0	136
(12) [C]	ランチョウ(蘭州: Lanzhou)	52889	36.1	103.9	1517	848	9.7	7.6	202
(13) [R]	ジュン(蘇尼**: Jurh)	53276	42.4	112.9	1151	886	4.0	5.4	346
(14) [C]	シェンヤン(瀋陽: Shenyang)	54342	41.8	123.4	42	1011	8.2	9.5	614
(15) [C]	ベキン(北京: Beijing)	54511	39.9	116.3	54	1011	12.3	10.0	401
(16) [C]	チーナ(済南: Jinan)	54823	36.7	117.0	52	1010	14.7	10.7	399
(17) [C]	シーアン(西安: Xi'an)	57036	34.3	108.9	397	971	13.4	12.3	735
(18) [R]	ルーシー(廬氏: Lushi)	57067	34.0	111.0	569	952	12.3	11.8	690
(19) [C]	チャンシャ(長沙: Changsha)	57679	28.2	113.1	45	1010	17.1	17.5	1458
(20) [R]	ボージェン(亳県: Boxian)	58102	33.9	115.8	38	1013	14.3	13.4	652
(21) [R]	トンタイ(東台: Dongtai)	58251	32.9	120.3	4	1017	14.1	14.8	927
(22) [R]	ホーフエイ(合肥: Hefei)	58321	31.9	117.2	28	1013	15.4	15.2	894
(23) [R]	ナンピン(南平: Nanping)	58834	26.7	118.2	126	1000	19.3	18.9	1570
(24) [C]	コワンゾウ(広州: Guangzhou)	59287	23.1	113.3	7	1013	22.0	22.1	2224
(25) [T]	ビエンコン(班戈: Baingoin)	55279	31.4	90.0	4700	571	1.3	3.1	470
(26) [T]	シガゼ(日喀則: Xigaze)	55578	29.3	88.9	3836	638	6.1	4.7	335
(27) [T]	ラサ(拉薩: Lhasa)	55591	29.7	91.1	3649	652	7.4	5.4	338
(28) [T]	トゥオトウオホー(格爾*)	56004	34.2	92.4	4533	585	-3.7	3.2	429
(29) [T]	マドォ(瑪多: Madoi)	56033	34.9	98.2	4272	604	-3.2	3.5	425
(30) [T]	デチェン(德欽: Deqen)	56444	28.5	98.9	3485	669	5.8	6.9	554
平均		-	-	-	1259	887	8.6	8.8	541

*MAの正式名は「Andir」, **蘇尼の正式名は「蘇尼特右旗・朱日和」, *格爾の正式名は「格爾木托托河: Tuotuohe」
Elev: 標高(elevation), p: 年平均気圧(atmospheric pressure), T: 年平均気温(air temperature), e: 年平均水蒸気圧(water vapor pressure), Pr: 年降水量, ただし雨量計の捕集率を考慮した補正降水量(corrected amount of precipitation)

ことである。

現在, GAMEの予備研究ないし前段研究として, 多数の研究者がアジア各地で放射量の観測を行なっている。しかし, 観測精度は十分ではなく(近藤・徐, 1996c), 水収支・熱収支の季節変化を知る研究目的には必ずしも適当ではない。

以上の背景のもとに, 本研究では, 地表面の熱収支・水収支研究の基礎データとなる日射量と大気放射量の地域的季節的分布を提供するものである。中国については1981年の資料に基づくものであるため, 気候平均値と多少の違いはあるが, 今後の研究に十分参考となるものと考えられる。なお, 日本につい

ての分布図は北海道から南西諸島および父島と南鳥島(マーカス島)までの気象官署66地点について求められた1981~1984年の4年間平均の日射量と大気放射量(近藤・桑形, 1992)を使用する。

なお, 近藤・徐(1997)の詳細な図表集には, 日射量, 大気放射量, ポテンシャル蒸発量, 気温や降水量などの気象データの他, 4種類の土壌について顕熱・潜熱輸送量, 正味放射量, 地温, 土壌水分などの日々変化や月平均値が掲載されている。

II. 解析地点と気象データ

計算に用いる気象ルーチンデータは中国国家気象局出版社発行の「中国地面資料月報」の1981年分である。

解析は中国の湿潤域から乾燥域, さらに標高の高いチベット高原を含む代表30地点について行なう。解析地点の緯度・経度と標高, 1981年の気圧・気温・水蒸気圧の年平均値, および年降水量を表一1に示した。年降水量は雨量計による降雪粒子の捕集率が風速によって変わること考慮して補正した値である(近藤・徐, 1996b)。

III. 計算の方法

中国では, 日照時間はジョルダン日照計で観測されている。地上の気圧 p (hPa)の観測所における日平均日射量 $S^{\downarrow}$ と日照率 N/N_0 との関係は次式で表わされる(近藤・徐・萩野谷, 1996)。

$$\frac{S^{\downarrow}}{S_0^{\downarrow}} = a + b \frac{N}{N_0}, \quad 0 < \frac{N}{N_0} \leq 1 \text{ のとき} \quad (1)$$

$$= c, \quad \frac{N}{N_0} = 0 \text{ のとき} \quad (2)$$

ただし,

$$b = 0.55 \quad (3)$$

$$a = 0.179 + 0.32 \left(1 - \frac{p}{1000}\right) \quad (4)$$

$$c = 0.114 + 0.32 \left(1 - \frac{p}{1000}\right) \\ = a - 0.065 \quad (5)$$

ここに, N は日照時間の観測値, N_0 は日照時間, $S_0^{\downarrow}$ は大気上端における日平均日射量である。 N_0 と $S_0^{\downarrow}$ は緯度と月日(または1月1日からの日数)を与えれば計算できる(近藤, 1994, p.57, p.89)。

山岳地などで日の出・日没時のところ地形によって日照率の観測値に影響を受ける地点は, 補正する(近藤・徐・萩野谷, 1996)。ただし, 日の出・日没時の太

陽高度が $\epsilon < 2^\circ$ のときは, 光路長が長く光が弱く, ジョルダン日照計は感光しないので, $\epsilon \geq 2^\circ$ であれば補正する。今回解析した中国の30地点のうち, チベット高原のビエンコンでは $\epsilon = 5^\circ$, デチエンでは $\epsilon = 11^\circ$ である。このような地点に対し地形補正を行なう目的は, 深い谷合い地形の観測所に到達する日射量を求めるのではなく, その地域一帯の広い水平面上の日射量を算定することである。

大気放射量は日照率, 有効水蒸気量, および日平均気温の関数として計算する(近藤, 1994, p.90-p.91)。有効水蒸気量とは可降水量の補正值であり, 大気放射に関係する気圧効果を考慮した量である。有効水蒸気量は地上の日平均露点温度と観測所の気圧の関数として算定する(近藤・徐, 1996d)。

黄砂など砂塵が空中広く浮遊しているような日は, 直達光に比べて散乱光が強く日照計の記録紙上に強い焦点が結ばれないので, 日照時間の記録から日射量は推定できなくなる。このような日は, 小型蒸発計による蒸発量の観測値から日平均日射量と日平均大気放射量を計算する。小型蒸発計は一種の放射計(日射計+大気放射計)であり, 小型蒸発計に対する熱収支式を用い, 風速の影響はルーチン地上風速によって補正する(近藤・徐, 1996c)。

次の4条件のそろった日には, 小型蒸発計蒸発量の観測値を用いて放射量を計算する。

- (a) 日照時間の観測値を N , 日照時間を N_0 として, $N/N_0 < 0.85$ の日
- (b) 日照時間から計算した日射量 $S^{\downarrow}$ と, その $S^{\downarrow}$ から推定した大気放射量 $L^{\downarrow}$ を用いて求めた小型蒸発計蒸発量の計算値 $E_{\text{PAN}}[\text{計算}]$ と観測値 $E_{\text{PAN}}[\text{観測}]$ を比べて, $E_{\text{PAN}}[\text{計算}] < 0.85 E_{\text{PAN}}[\text{観測}]$ の日
- (c) 日平均気温 $> 0^\circ\text{C}$
- (d) $E_{\text{PAN}}[\text{観測}] > 3\text{mm d}^{-1}$

これら条件を設定した理由は近藤・徐(1996c)に記述されている。

IV. 日射量と大気放射量の計算結果

中国の地上ルーチンデータを用いて日々の日射量 $S^{\downarrow}$ と大気放射量 $L^{\downarrow}$ を計算し, 月平均値を表一2と表一3に示した。ただし, 大気放射量の代わりに有効大気放射量($\sigma T^4 - L^{\downarrow}$)で示した。ここに σ はステファンボルツマン定数, T は月平均気温である。 $L^{\downarrow}$ は黒体放射量の60~90%程度の大きな値をもち, 気温と水蒸気量と共に増加する。また, 標高による変

化が激しい。そのため複雑地形では等値線が複雑で描きにくい。しかし、 $(\sigma T^4 - L^1)$ は小さな値をもち、地点ごとの変動がなめらかになり等値線が描きやすい。また、雲量に敏感で、湿潤・乾燥度のよりよいパラメータとなる。さらに、有効入力放射量は顕熱と潜熱輸送量の和に近い値となり熱収支気候を見るのに都合がよい。地表面のアルベードを ref とし、長波放射に対する地表面の黒体度 ϵ が1と仮定できる場合、有効入力放射量は正味短波放射量と有効入力大気放射量の差〔つまり、有効入力放射量： $R^1 - \sigma T^4 = (1 - ref) S^1 - (\sigma T^4 - L^1)$ 〕、熱収支の理論的考察の際に出てくる(近藤, 1994, p.133-p.135, p.142; 近藤, 1996)。そのため、本研究では L^1 の代わりに $(\sigma T^4 - L^1)$ の値で示す。

1月、4月、7月、10月、および年平均値について、日射量(上)と有効大気放射量(下)の分布を図1から図5に示した。これら図中の小さい点線は国境を、短い破線は高地の範囲を示している。中国西部の高地は南から、チベット高原、天山山脈、アルタイ山脈であり、モンゴルの中西部寄りにはハンガイ山脈が描かれている。チベット高原と天山山脈の間にはタクラマカン砂漠がある。中国については計算した地点数が30と少ないために、日射量の等値線は日照時間の分布(Zhang and Lin, 1992)と地形を参考にして描いた。日本についての1981~1984年の平均分布(近藤・桑形, 1992)を参照し、等値線は中国の範囲と連続するようにつないである。統計年が中国と日本で異なるが、月単位の等値線を描く際に、不連続性は感じられなかった。

1. 1月の分布

1月の分布図から見てみよう。図1(上)によれば、日射量が 100Wm^{-2} 以上の大きい範囲は、黄河の周辺以北、チベット高原、その北方の乾燥域、日本の太平洋側のベルト地帯、および太平洋の亜熱帯海域である。チベット高原では 140Wm^{-2} 以上、最大 180Wm^{-2} である。一方、日射量が 60Wm^{-2} 以下の小さい範囲は中国北西部の狭い範囲、チベット高原東方の長江(揚子江)中流域周辺、日本の日本海側である。

図1(下)によると、有効大気放射量は日射量の分布とおおよそ対応している。チベット高原、黄河の北側、日本の太平洋側で 80Wm^{-2} 以上である。一方、 60Wm^{-2} 以下の小さい範囲は長江の中流域から東シナ海の北緯30度付近に沿って東に延びる範囲、さら

に日本海側である。

2. 4月の分布

日射量は、太陽高度が1月より高くなるので、全体として大きくなるが、分布の形は1月の分布に似ている(図2(上))。チベット高原には 300Wm^{-2} 以上の所があり、 240Wm^{-2} 以上の範囲がチベット高原から北東方向に延びている。チベット高原南部の東経95度付近にはやや小さい範囲が見られる。ここは、ヒマラヤの北側を東向きに流れてきたヤルンザンボ川が南向きに折れ、インド東部に入り、ブラマプトラ川と名を変えてベンガル湾へ注ぐ大河の屈曲部であり、降水量の多い地域である。

中国北西部には日射量のやや小さい範囲がある。ここはアルタイ山脈と天山山脈にはさまれた地域である。また、 140Wm^{-2} 以下の小さい範囲が華南から九州の南方海域に延びている。4月における日射量の最大値と最小値の差は約 200Wm^{-2} もあり、コントラストが大きい。

有効大気放射量の図(図2(下))では、 80Wm^{-2} 以上の大きい範囲がチベット高原から中国北部にあるが、 40Wm^{-2} 以下の小さい範囲が華南から東シナ海に見られる。

3. 7月の分布

日射量が 240Wm^{-2} 以上の大きい範囲はチベット高原からモンゴルの方向に広がっている(図3(上))。沖縄諸島でも 240Wm^{-2} 以上である。 200Wm^{-2} 以下の小さい範囲は、長江の中流域~華南、および黄海から北緯35度付近に沿って日本の中部~東北地方へ延びている。

有効大気放射量は、チベット高原とモンゴルで大きい(図3(下))。 40Wm^{-2} 以下の小さい範囲は長江の中流域から華南をへて中国東岸、黄海、および日本の一部に広がっている。

4. 10月の分布

日射量の地理的分布は、最大値と最小値の差が再び大きくなる(図4(上))。チベット高原には最大値 260Wm^{-2} があり、 200Wm^{-2} 以上の範囲が広い。 140Wm^{-2} 以上の範囲がモンゴル方面から華北を経て、日本の四国と九州に延びている。日射量の小さい範囲は長江の中流域(チベット高原の東方)からほぼ北緯30度に沿って東に延びている。

有効大気放射量の図(図4(下))では、 80Wm^{-2} 以

表一 2 1981年の日射量 S^1 (solar radiation: Wm^{-2})の月平均値と年平均値

No. Sation	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	mean
(1)Hailar	68	101	136	216	213	277	256	202	183	114	76	55	158
(2)Bugt	76	114	162	217	221	276	242	204	190	116	80	53	163
(3)Harbin	70	106	155	208	215	244	236	198	174	122	79	55	155
(4)Altay	62	107	142	223	266	287	276	248	178	122	78	59	171
(5)Fuyun	70	117	153	205	260	294	282	242	188	124	80	63	174
(6)Urumqi	58	99	148	184	254	255	233	240	196	140	79	70	164
(7)Turpan	78	111	179	217	237	254	242	226	182	138	94	72	170
(8)Hotan	91	124	175	207	161	241	235	225	199	121	119	96	166
(9)MA*	113	141	188	248	257	264	272	265	241	182	136	111	202
(10)Dunhuang	107	148	211	250	280	274	260	235	225	175	127	100	200
(11)Jiuquan	118	159	220	257	283	285	254	230	217	163	119	99	200
(12)Lanzhou	96	156	208	223	257	217	256	201	169	167	121	111	182
(13)Jurh	104	140	198	247	273	290	284	242	207	162	107	97	196
(14)Shenyang	85	105	151	217	222	263	194	213	206	142	90	65	163
(15)Beijing	98	126	177	221	252	248	231	205	189	158	104	82	174
(16)Jinan	105	128	200	230	279	249	216	199	207	149	116	106	182
(17)Xi'an	77	102	171	179	234	223	191	153	107	95	77	87	141
(18)Lushi	98	122	161	190	258	238	229	151	138	114	97	106	159
(19)Changsha	73	67	114	111	163	192	236	244	168	86	44	97	134
(20)Boxian	89	114	166	200	261	226	228	187	158	117	95	111	163
(21)Dongtai	94	109	143	163	247	193	229	208	176	119	98	104	157
(22)Hefei	74	80	127	175	235	217	232	186	173	110	81	104	150
(23)Nanping	100	98	124	132	173	177	203	248	156	158	99	127	150
(24)Guangzhou	139	81	88	108	133	190	187	217	167	149	120	145	144
(25)Baingoin	172	212	240	302	312	313	281	293	281	256	198	178	253
(26)Xigaze	181	226	246	303	319	333	279	283	272	260	211	186	258
(27)Lhasa	178	219	232	273	299	313	279	285	264	261	205	172	249
(28)Tuotuohe	155	185	224	304	309	316	300	296	265	233	178	156	244
(29)Madoi	151	184	242	260	297	300	280	263	231	214	171	148	229
(30)Deqen	157	181	198	252	256	259	243	248	239	227	198	166	219
平均	105	132	176	217	248	257	246	228	198	156	116	106	182

*MA: 「Andir」

上の範囲がチベット高原から華北まで広がっており、 $40Wm^{-2}$ 以下の小さい範囲が長江の中流部に見られる。

5. 年平均値の分布

日射量については(図一5(上)),チベット高原では $220Wm^{-2}$ 以上,最大 $260Wm^{-2}$ がある。華中から北および西方にかけて $160Wm^{-2}$ 以上となっている。日射量の小さい範囲はチベット高原東方の長江中流域、九州南西海上、本州中部の日本海側、東日本に見ら

れる。日本の中部地方の太平洋側は日本海側に比べて約 $30Wm^{-2}$ 大きい。東日本～北海道の太平洋側は日本海側に比べて $10\sim20Wm^{-2}$ 大きい。

有効大気放射量については(図一5(下)),華北から中国東北部,およびチベット高原では $60Wm^{-2}$ 以上である。 $40Wm^{-2}$ 以下の小さい範囲が長江の中流部から華南に見られる。日本中部の太平洋側,東北地方の太平洋側,北海道の東部は日本海側に比べて約 $10Wm^{-2}$ 大きい。

表一 3 1981年の有効大気放射量 $\sigma T^4 - L^{\downarrow}$ (effective atmospheric radiation: Wm^{-2})の月平均値と年平均値
ただし σT^4 の計算に用いる T は、月平均値の場合は月平均気温、年平均値の場合は年平均気温である。

No. Sation	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	mean
(1)Hailar	62	62	63	81	67	76	67	62	81	73	67	65	61
(2)Bugt	74	74	77	86	73	76	59	63	85	75	72	65	68
(3)Harbin	60	66	73	81	68	65	47	54	70	72	68	60	60
(4)Altay	60	46	66	86	88	82	79	83	77	79	70	69	68
(5)Fuyun	61	70	71	81	91	93	88	86	85	80	69	66	72
(6)Urumqi	49	58	65	71	88	80	70	81	85	82	61	66	66
(7)Turpan	69	76	93	92	92	81	73	73	74	82	78	70	73
(8)Hotan	63	68	83	81	57	73	70	66	79	66	76	71	67
(9)MA*	77	79	92	97	94	82	81	82	99	98	91	82	83
(10)Dunhuang	79	86	99	99	94	79	75	75	91	96	89	80	83
(11)Jiuquan	84	89	101	97	95	80	68	70	85	85	80	74	80
(12)Lanzhou	61	81	89	76	86	62	67	57	60	79	74	76	69
(13)Jurh	73	78	91	96	95	95	74	73	86	92	76	82	79
(14)Shenyang	66	65	70	80	68	63	38	52	72	77	69	62	61
(15)Beijing	80	80	85	85	80	65	45	50	62	86	79	75	69
(16)Jinan	75	74	90	85	89	68	42	45	71	76	78	83	70
(17)Xi'an	52	55	70	55	67	56	38	34	33	45	47	61	49
(18)Lushi	62	63	66	60	74	58	43	34	43	53	54	73	55
(19)Changsha	41	33	38	31	40	35	42	44	42	35	26	56	37
(20)Boxian	60	58	67	62	75	54	40	37	48	54	57	78	54
(21)Dongtai	60	55	55	50	64	43	37	39	48	51	54	67	49
(22)Hefei	49	43	49	51	62	28	39	35	49	47	46	67	45
(23)Nanping	52	41	40	35	41	35	38	44	35	50	44	66	42
(24)Guangzhou	64	32	27	25	29	34	32	38	36	43	49	74	39
(25)Baingoin	81	90	80	91	85	86	74	83	93	107	93	95	99
(26)Xigaze	90	105	91	99	95	96	73	80	91	116	108	102	94
(27)Lhasa	93	102	86	90	89	87	73	81	88	116	107	91	91
(28)Tuotuohe	77	76	74	89	85	83	79	85	87	99	88	85	81
(29)Madoi	76	77	82	75	83	80	75	77	77	90	84	82	77
(30)Deqen	76	72	65	74	71	67	62	67	74	88	95	89	74
平均	68	68	73	75	76	69	60	62	70	76	72	74	67

*MA:「Andir」

V. 正味放射量

正味放射量 R_n は次式で定義される。

$$R_n = (1 - \text{ref}) S^{\downarrow} - \varepsilon (\sigma T_{sa}^4 - L^{\downarrow}) \quad (6)$$

ただし、 ref は地表面のアルベード、 ε は長波放射に対する地表面の黒体度(本研究では $\varepsilon = 1$ と仮定)、 T_{sa} は地表面温度である。アルベードは土壌表層の含水率の関数である(近藤・徐, 1996a; 1996c)。

本研究では地表面として4種類の裸地面を想定し、

地上におけるルーチンデータの気温、水蒸気圧、風速、日降水量と前節で得た大気放射量と日射量を入力し、地表面の熱収支量、および土壌の各深さの含水率と地温の日変化・年変化を計算した。この計算は裸地面モデル(近藤・徐, 1996a; b)を用いて行なわれた。その結果、式(6)から正味放射量を得た。

4種類の裸地として、次の2種類のロームと2種類の砂を想定している。

ローム質土壌として、

図-2 図-1に同じ、ただし4月

図-3 図-1に同じ、ただし7月

図-4 図-1に同じ、ただし10月

図-5 図-1に同じ、ただし年平均値

表一 4 種類の裸地面における1981年の正味放射量Rn(net radiation: W m^{-2})の月平均値と年平均値

No.	Station Name	Index No.	Lat °N	Rn (W m^{-2})			
				soil 1	soil 2	soil 3	soil 4
(1)	ハイラル(海拉爾: Hailar)	50527	49.2	38	26	24	22
(2)	ブグト(博克圖: Bugt)	50632	48.8	57	41	38	32
(3)	ハルビン(哈爾濱: Harbin)	50953	45.8	55	39	39	30
(4)	アルタイ(阿勒泰: Altay)	51076	47.7	38	26	23	22
(5)	フーユン(富蘊: Fuyun)	51087	47.0	38	27	24	23
(6)	ウルムチ(烏魯木齊: Urumqi)	51463	43.8	45	31	30	28
(7)	トルファン(吐魯番: Turpan)	51573	42.9	39	24	21	23
(8)	ホータン(和田: Hotan)	51828	37.1	43	29	27	28
(9)	アンディル(民豊安得河: MA*)	51848	37.9	52	34	31	34
(10)	トゥンホワン(敦煌: Dunhuang)	52418	40.2	53	35	31	34
(11)	チウチュワン(酒泉: Jiuquan)	52533	39.8	57	40	36	37
(12)	ランチョウ(蘭州: Lanzhou)	52889	36.1	54	40	37	36
(13)	ジュン(蘇尼** : Jurh)	53276	42.4	67	49	44	42
(14)	シェンヤン(瀋陽: Shenyang)	54342	41.8	64	47	46	36
(15)	ベキン(北京: Beijing)	54511	39.9	60	42	40	36
(16)	チーナン(済南: Jinan)	54823	36.7	65	47	45	40
(17)	シーアン(西安: Xi'an)	57036	34.3	60	45	45	35
(18)	ルーシー(廬氏: Lushi)	57067	34.0	68	49	50	38
(19)	チャンシャ(長沙: Changsha)	57679	28.2	72	55	55	41
(20)	ボージェン(亳県: Boxian)	58102	33.9	72	52	53	42
(21)	トンタイ(東台: Dongtai)	58251	32.9	80	59	59	45
(22)	ホーフエイ(合肥: Hefei)	58321	31.9	77	57	58	44
(23)	ナンピン(南平: Nanping)	58834	26.7	84	62	65	47
(24)	グワンヂョウ(広州: Guangzhou)	59287	23.1	84	61	63	47
(25)	バインゴン(班戈: Baingoin)	55279	31.4	95	77	73	65
(26)	シガゼ(日喀則: Xigaze)	55578	29.3	83	62	59	55
(27)	ラサ(拉薩: Lhasa)	55591	29.7	78	59	56	52
(28)	トゥオトゥオホー(格爾*)	56004	34.2	90	73	69	62
(29)	マドォ(瑪多: Madoi)	56033	34.9	86	71	66	60
(30)	デチェン(徳欽: Deqen)	56444	28.5	83	64	62	55
平均		—	—	65	47	46	40

*MAの正式名は「Andir」,**蘇尼の正式名は「蘇尼特右旗・朱日和」,*格爾の正式名は「格爾木托托河: Tuotuohe」

soil 1 (clay loam, Tsukuba): ロボク土, 通称関東ローム, つくば市にある農業環境技術研究所の圃場の土, 保水性のよい畑地土壌, 圃場容水量= $0.512\text{m}^3\text{m}^{-3}$

soil 2 (loam, Lanzhou): 中国蘭州の気象台露場の土, 飽和含水の状態にしたのち乾燥させると煉瓦のように堅くなる, 圃場容水量= $0.336\text{m}^3\text{m}^{-3}$

砂質土壌として,

soil 3 (silty sand, Chiba): 千葉市の成田砂, 目の細かな細砂, 圃場容水量= $0.250\text{m}^3\text{m}^{-3}$

soil 4 (sand, Tottori): 砂丘の砂, 粗砂, 排水のよい土壌, 圃場容水量= $0.086\text{m}^3\text{m}^{-3}$

日々計算された正味放射量の年平均値を表一4に示した。**soil 1**と**soil 4**を比べると, 正味放射量の年平均値で60%程度異なる。**soil 1**は保水性がよいため, 乾燥しにくく, 蒸発の潜熱が大きく地温は比較的低温であるからである。それに対し, 粗砂の**soil 4**は排

水がよく、降雨後、土壤表層はすぐ乾燥し蒸発が少なくなり、地温が高くなり σT_s^4 が大きくなるためである。表に示されたように、正味放射量は地表面の種類によって大きく異なることが分かる。

soil 1の場合、正味放射量は中国北部の積雪域と乾燥域では $38\sim 57\text{Wm}^{-2}$ 、湿潤域では $72\sim 84\text{Wm}^{-2}$ 、チベット高原では $78\sim 95\text{Wm}^{-2}$ である。乾燥域で小さいのは、蒸発が少なく地表面温度が高くなることによる。また、チベット高原で大きいのは、標高が高く、可降水量が少ないために日射量が多いことによる。

soil 4(粗砂)の場合、正味放射量は積雪域と乾燥域では $22\sim 37\text{Wm}^{-2}$ 、湿潤域では $42\sim 47\text{Wm}^{-2}$ 、チベット高原では $52\sim 65\text{Wm}^{-2}$ である。

ここでは、水面や森林については、まだ計算していないが、蒸発が盛んで地表面温度が低くなり、正味放射量は裸地面よりも大きくなると考えられる。

VI. まとめ

1981年の中国における地上のルーチン気象データを使って、日射量 $S^{\downarrow}$ と有効大気放射量($\sigma T^4 - L^{\downarrow}$ 、ただし T は気温、 $L^{\downarrow}$ は下向き大気放射量)を求め、月平均値と年平均値を表に示した。また、日本についての1981~1984年の4年間平均の日射量と有効大気放射量(近藤・桑形, 1992)を参考に分布図を作成した。本文では詳細に議論しなかったことも含めると、まとめは以下になる。

- (1) 晴天日の多い乾燥域では水蒸気量が少ないため、日射量が多いが大気放射量は少ない。地表面温度が高くなるので、有効大気放射量は大きくなる。
- (2) 標高の高いチベット高原では水蒸気量が少ないので、日射量が多いが大気放射量は少ない。その結果、正味放射量は大きくなる。
- (3) 水蒸気の多い湿潤域の夏期、大気放射量は雲の有無に敏感ではなくなる。
- (4) 日射量の年平均値の大きいところは、チベット高原であり、その値は $220\sim 260\text{Wm}^{-2}$ である。逆に、チベット高原東方の長江の中流域では $120\sim 140\text{Wm}^{-2}$ で小さい。
- (5) 有効大気放射量の年平均値は華南~華中~日本で $35\sim 65\text{Wm}^{-2}$ 、中国東北部~乾燥域で $60\sim 85\text{Wm}^{-2}$ 、チベット高原で $80\sim 100\text{Wm}^{-2}$ となり、水蒸気量が少なくなるほど大きくなる。
- (6) 正味放射量は裸地面の土壤の種類によって異なり、保水性のよいローム上では排水のよい粗砂の

上に比べて、年平均値で約1.6倍も大きい。

- (7) 正味放射量の年平均値は、中国の積雪域や乾燥域では小さく、 $38\sim 60\text{Wm}^{-2}$ (保水性のよいローム)、または $22\sim 37\text{Wm}^{-2}$ (排水のよい粗砂)である。積雪域で小さいのは、冬期の雪のアルベドが高く日射量の吸収が少ないことによる。乾燥域で少ないのは、蒸発量が少なく地表面温度が高くなることによる。

以上の定量的評価から言えることは、今後GAME研究などで行なわれる地表面の熱収支・水収支研究のための日射量と大気放射量の観測は、 $\pm 20\text{Wm}^{-2}$ の精度、可能ならば $\pm 10\text{Wm}^{-2}$ の精度が欲しい。

引用文献

- 近藤純正(編著), 1994: 水環境の気象学—地表面の水収支・熱収支. 朝倉書店, pp. 348.
- 近藤純正, 1996: 夜間の結露量についての熱収支的計算. 農業気象, 52(1), 29-32.
- 近藤純正・徐健青, 1996a: 中国の乾燥・半乾燥域の裸地面熱収支の計算, (1)気候と土壌パラメータと計算方法. 水文・水資源学会誌, 9(2), 162-174.
- 近藤純正・徐健青, 1996b: 中国北西部における積雪の裸地面熱・水収支に及ぼす影響. 雪氷, 58, 303-316.
- 近藤純正・徐健青, 1996c: 蒸発計蒸発量と日照時間から推定した放射量. 天気, 43, 613-622.
- 近藤純正・徐健青, 1996d: 可降水量を地上の露点温度から推定する実験式. 水文・水資源学会誌, 9(5), 463-467.
- 近藤純正・徐健青, 1997: 中国における地表面熱収支・水収支(3)裸地面資料の図表. 東北大学理学研究科地球物理学教室, pp. 120.
- 近藤純正・徐健青・萩野谷成徳, 1996: 高地における日照時間と日射量との関係. 水文・水資源学会誌, 9(5), 468-472.
- 近藤純正・桑形恒男, 1992: 日本の水文気象(1)放射量と水面蒸発. 水文・水資源学会誌, 5(2), 13-27.
- Zhang, Jiacheng and Zhiguang Lin, 1992: Climate of China. John Wiley & Sons, Inc., pp. 376.

(1996年8月21日; 受付, 1996年10月23日受理)