



Title	広葉樹林の水および熱エネルギー収支と林内環境
Author(s)	佐久間, 敏雄; SAKUMA, Toshio; 小林, 信也 他
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 44(2), 507-535
Issue Date	1987-07
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/21214
Type	departmental bulletin paper
File Information	44(2)_P507-535.pdf



広葉樹林の水および熱エネルギー収支と 林内環境

佐久間敏雄* 小林信也**

Water and Heat Balance of a Deciduous Forest and Their Relation to a Forest Environment

By

Toshio SAKUMA* and Nobuya KOBAYASHI**

要 旨

林地の熱収支および蒸発散量を知り、森林の伐採・空閑地の形成が森林環境・林木の活力にどのような影響を与えるかを推定する目的で、微気象および地中環境を観測し、次の結果を得た。

(1) 純放射 (R_N) は盛夏期晴天日には 400 ly/day 以上の値であったが、秋に向かって急減した。

R_N の潜熱伝達量 (LE)、顕熱伝達量 (H)、地中熱伝導量 (G) への配分には、植物群落の構造が密接に関係しているものと推察され、林縁に近い B 点と林内に 50 m 入った C 点ではかなり大きな違いが認められた。

(2) 蒸発散量 ET は、8 月中は 5~6 mm/day のやや大きな値を示し、B 点 < C 点であったが、秋に向って急減するとともに B 点 > C 点の関係になり、10 月中旬の ET は 2 mm/day 程度まで低下した。

(3) 植被層内の移送・貯留熱量は、日量として見るかぎり、 R_N 、 LE 、 H および G に比べて小さく、林地についても $R_N = H + LE + G$ の簡略式によって熱収支を概定できる。

(4) 熱収支項の違いを反映して、林内の気温や地温にも地点により明瞭な差がみられ、森林の熱収支や温度状況これを注意深くモニタすることによって、冒頭に上げた目的を達成でき

キーワード： 熱収支，蒸発散量，林内環境。

1987年2月28日受理 Received February 28, 1987.

* 北海道大学農学部土壌学講座

Laboratory of Soil Science, Faculty of Agriculture, Hokkaido University.

** 北海道開発局土木試験所

Civil Engineering Research Institute, Hokkaido Development Bureau.

ることが明らかにされた。

1. はじめに

太陽から地球に送られてくる短波放射は太陽恒数と呼ばれ、よく知られているようにその値は $2.00 \pm 0.04 \text{ ly/min}$ である。この放射エネルギーの一部は、大気層を透過するさいに吸収され、ちりや水蒸気によって散乱される。また、地表面は太陽放射に対してある傾きをもっているために、ある地点の水平面が受け取る熱量は緯度、季節および時刻によって変化する。一方、地表面において短波放射の一部は反射され、また地表面自身その温度に応じてふく射エネルギーを放出している。これは長波放射と呼ばれる。したがって、地表面で実際に消費される熱量は全短波放射から反射と長波放射を差し引いたものになる。この熱量は純放射と呼ばれ、地表において水の蒸発、蒸散、地中への伝導、大気との熱交換あるいは光合成などに配分、消費される。

熱収支気候学的な検討の結果¹⁾によれば、千歳～苫小牧地区の純放射は年間で $40 \sim 42 \text{ kly}$ 、暖候期(5～10月)で約 34 kly であるが、その配分状態は土壌-植物系の状態、特に水分状態や被度によって大幅に変化する。耕地(畑状態)生態系では、純放射の70%内外あるいはそれ以上が水の蒸発(潜熱伝達量)に消費され、15～20%が大気との熱交換に、残りが地中への熱伝導、光合成その他に消費される²⁾。北海道の林地に関する調査例は報告されていないが、森林では植被層が厚く、その構成が複雑なこと、森林の蒸発散能がかなり大きいと思われること、さらには森林の有効根群域がかなり深いことなどから、耕地とは異なった条件にあると推察される。

それ故、林地の熱収支、水収支を明らかにして、これと林内微気象あるいは森林土壌環境のつながりを考察することは、森林の生産性や林地をめぐる物質循環を解き明かすために極めて重要な課題である。一方、林木の伐採は、森林生態系の物質とエネルギーの流れを変え、伐採地区とその周辺の森林との間に不連続な状態をもたらす、境界部における森林の活力を低下させたり、安定性を乱したりする可能性がある。こうした人為の影響は、まず林地外縁部の水および熱エネルギーの収支、ひいては林内の微気象に現れるであろう。更に、それが集積していく条件が与えられれば、比較的安定な林木や森林土壌にも変化が及んでくると考えられる。

この調査は伐採部周辺の林地について、熱エネルギーの収支を明らかにして、蒸発散量を推定しようとするものであるが、同時に、これと林内微気象、地温および土壌水分との関係を調べて、森林生態系における水とエネルギーの流れを知り、さらに伐採によって生ずる空閑地と林地の境界領域におけるその変化を把握する目的をもつものである。

2. 調査地点

図-1 に調査区域の概況を示す。熱収支の観測は点 B, C の観測用鉄塔において行った。この区域は標高 33.5 から 34 m の台地をなし、A 点付近における低地との比高は約 23 m である。B 鉄塔の南に幅約 50 m の帯状の伐採地が形成され、後に道路造成のために切土された。B 鉄塔は林縁から 10 m, C 鉄塔は同じく 50 m の林内に設置されている。

植生はミズナラを主とし、ミヤマザクラ、エゾヤマザクラ、エゾイタヤ、アズキナン、ハリギリなどをまじえた広葉樹 2 次林であり、土壌は樽前山の噴出に由来する火山灰 (樽前 a, b, c, d) を母材とする火山放出物未熟土である。

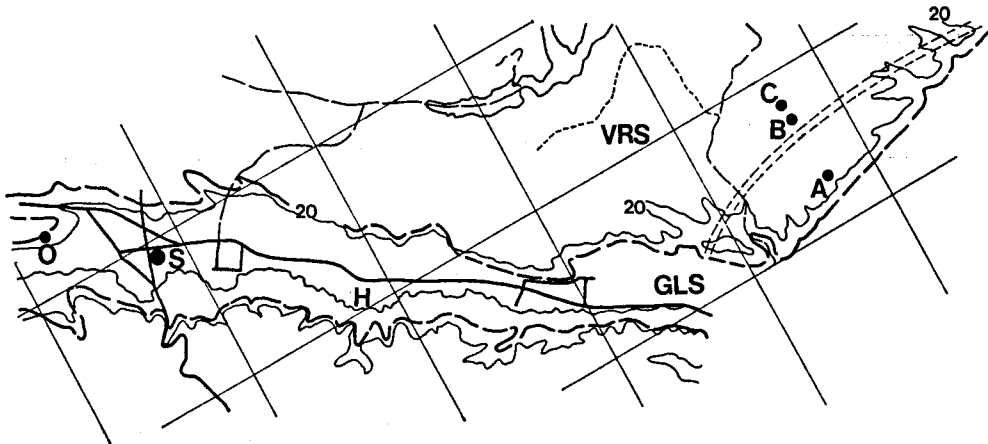


図-1 調査地点位置図

S: 演習林事務所, O: 森林観測塔, B, C: 熱収支観測点, H: 幌内川, VRS: 台地, 火山放出物未熟土, GLS: 低地, 灰色低地土, 太破線: VRS/GLS 境界, 太実線・細破線: 道路, 2重破線: 伐採地

3. 熱収支法による蒸発散量の観測

3-1. 地表面の熱収支

地表植被層の熱収支項は、模式的に図-2 のように示すことができ、エネルギー保存則から、これらの熱収支項の間には次の関係が成り立つ³⁾。

$$R_N + F_v + F_1 = H + lE + G + S_1 + S_2 + S_3 \quad (1)$$

ここで、 R_N =純放射, H =顕熱伝達量, lE =潜熱伝達量 (ただし、 l =水の蒸発の潜熱, E =蒸発散量), G =地中熱伝導量, F_v =水蒸気の移動による水平輸送熱量, F_1 =空気の移動による水平輸送熱量, S_1 =貯留熱量変化 (植物体の温度変化), S_2 =貯留熱量変化 (植被内の湿った空気の温度変化), S_3 =貯留熱量変化 (絶対湿度の変化) であり、単位はいずれも単位時間当たり kly である。なお、 F, S 項の詳細は後に述べる。

植被層が薄いとき F, S の各項を無視できるものとするれば、(1) 式はつぎのように簡略化で

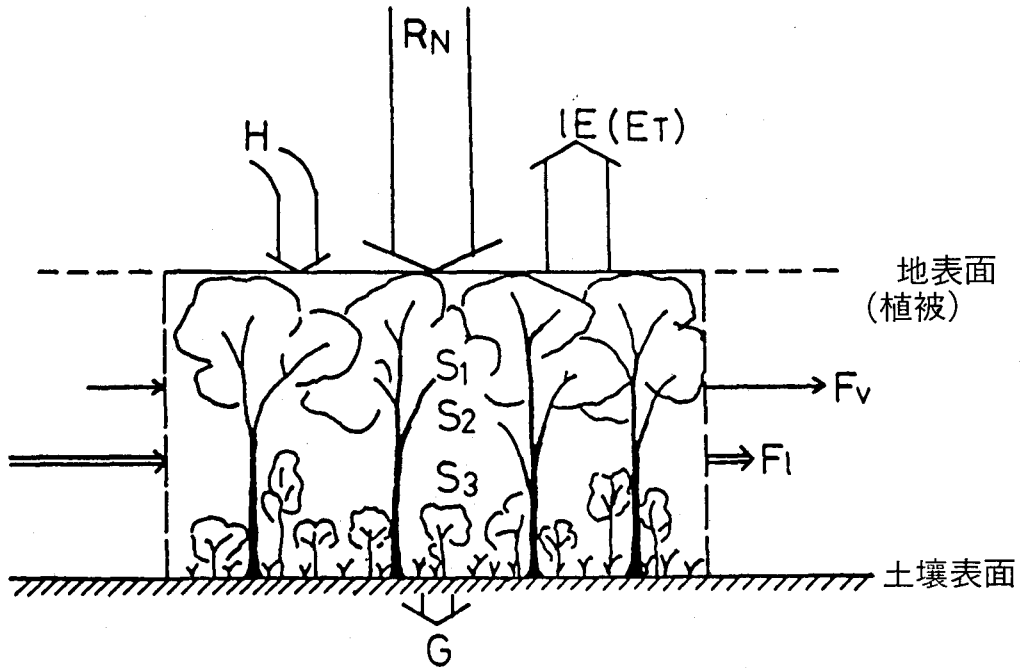


図-2 森林の熱収支と蒸発散量の関係 (模式図)

きる。

$$R_N = H + IE + G \quad (2)$$

なお、以上の熱収支式において光合成に消費される熱量は純放射の5%程度以下であるので、普通は無視できる。

3-2. 主な熱収支項の決定

植被層があまり厚くない場合には、通常(2)の簡略式をもちいて熱収支を推定する。

図-3はこの調査で用いている観測装置の略図である。

R_N と G は、それぞれ純放射計と地中熱流板によって、直接測定される。これらの測器の受感部は、上・下両面に多数の熱電対を並べた構造になっており、上面から受ける熱量と下面から受ける熱量の差を直接電圧として出力できるようになっている。

IE と H は、 R_N 、 G の測定結果とボーエン比(β)を用いて次のようにして求められる。

$$\beta = H/IE = (K_H/K_W) \cdot \overline{\Delta T/\Delta z} / \overline{\Delta e/\Delta z} \quad (3)$$

温度および水蒸気圧の観測が等高度間かくでおこなわれていれば、

$$\beta = \gamma (K_H/K_W) \cdot \overline{\Delta T/\Delta e} \quad (4)$$

である。ここで、 $\gamma = \text{乾湿計常数} (= C_p \cdot \rho / L_e, \text{mb/deg})$ であり、 K_H は乱流熱拡散係数、 K_W は乱流水蒸気拡散係数(いずれも cm^2/min)である。(4)式で、 $K_H = K_W$ とおけば、(2)、(4)式から

$$IE = (R_N - G)/(1 + \beta) \quad (5)$$

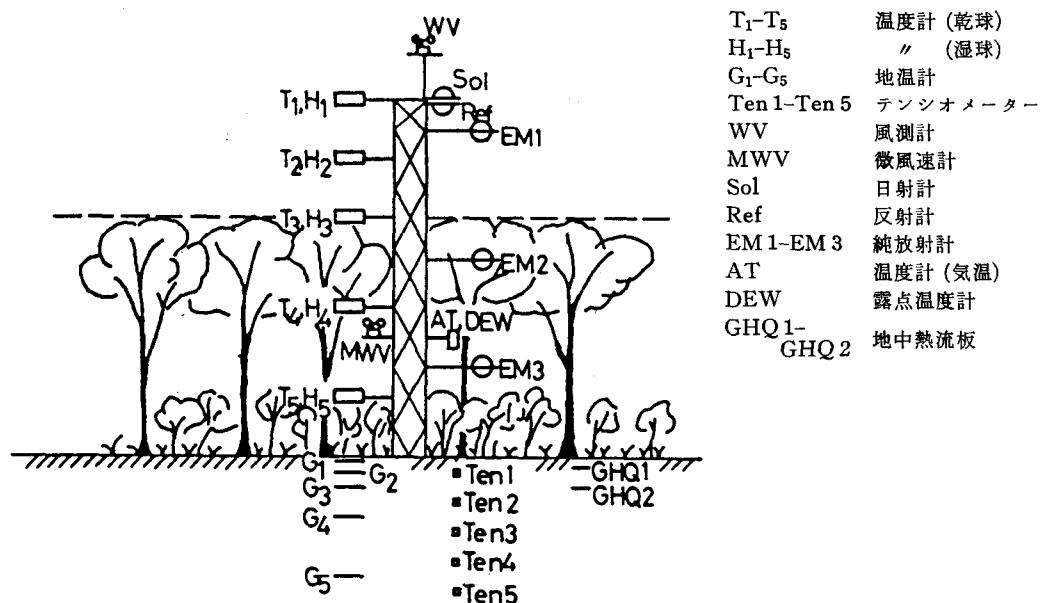


図-3 観測機器の配置 (模式図)

を得る。

それ故、植被面からの気温および水蒸気圧勾配がわかれば、(3)、(4)、(5)式によって(2)式の熱収支項を全て決定することができる。図-3で高度別に配置されている温・湿度計は(4)式の $\overline{\Delta T/\Delta e}$ を求めるためのものである。

3-3. F, S項を含めた熱収支項の決定

(1)式による熱収支項の決定には、より多くの観測データが必要である。その主なものは、水平方向の群内風速、水蒸気圧および温度勾配、ならびに植物体温、群内の気温および水蒸気圧の経時変化などである。これらはいずれも群落の構成状態に関係する因子であって、その多くは図-3の林内気象観測システムによって観測集録できるが、群落の状態に応じた補足的な観測および調査を必要とする。(ue/T), (suT)の水平方向の分布状態、植物体温、植物体の熱容量、群内植物体の平均密度(ρ_c)などがそれである。

本報では、まず筆者らが農地の熱収支解析に用いてきた(2)をもちいる方法によって観測値を整理して、林内環境との関係について概観する。

4. 熱収支項の概算結果と考察

4-1. 熱収支項の日変化

盛夏期晴天日に観測される熱収支項の日変化の典型的事例を図-4に示す。 R_N は夜間は負の値をとっており、地表面(植被面)から熱エネルギーの放出があったことを示しているが、日の出とともに急増して、正午頃には図-4の例で約55 ly/hrの最大値を記録する。その後、14時

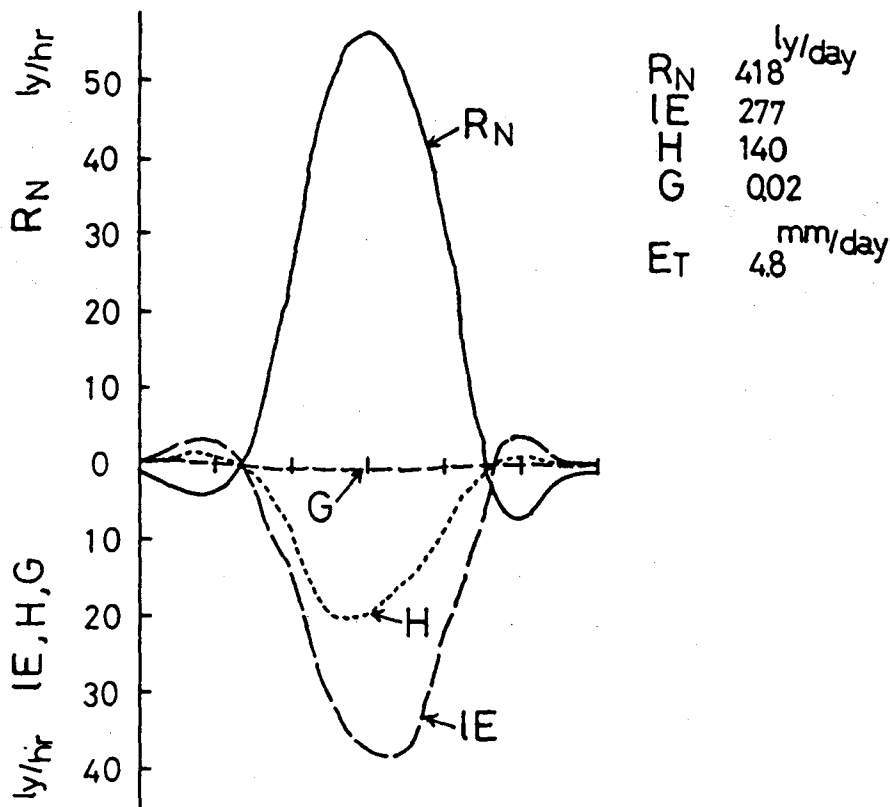


図-4 熱収支項の日変化観測例 1 (C点, 8月10日)

頃から急減し、18時すぎからは再び負の値になる。 R_N の極小値は20時頃と4時頃の2回観測され、それぞれ -7 、 -5 ly/hrの値になっている。20時頃の極小値は昼間の吸熱によって暖まった植被面からのやや大きな放熱によるものであり、未明の極小値は結露などにともなる放熱量の増加に対応するものであろう。これに対して、熱エネルギーの支出項である I_E 、 H 、 G は図-4の下側の図のように変化する。樹冠が密閉したこの時期の観測では、 G は I_E 、 H に比べて小さい値になっている。 I_E 、 H とも夜間は小さい負の値をとるが、 R_N の増加につれて急増し、正午前後に最大値を現出する。最大値が観測される時刻は I_E が12時すぎであるのに対して、 H は11時少し前とわずかながらずれが見られる。

同じ日のB地点における観測結果は図-5のようにになっていた。 R_N の日変化相は、図-4のC点の場合とほぼ同様であるが、最大値は約52 ly/hrでC点のそれよりやや小さい。また、B・C両点における R_N 日量の差は約37 lyに達している。一方、 I_E は日の出後急激に増大して、正午頃に約58 ly/hrの最大値を現出する。すなわち、 $R_{Nmax} < I_{Emax}$ であり、10時から15時の期間は I_E が R_N より大きくなっている。 G はC点同様ごく小さい値であるので、 $I_E - R_N$ に相当する熱量は顕熱伝達量 H が負の値になることによって補給されている。これは植被層面

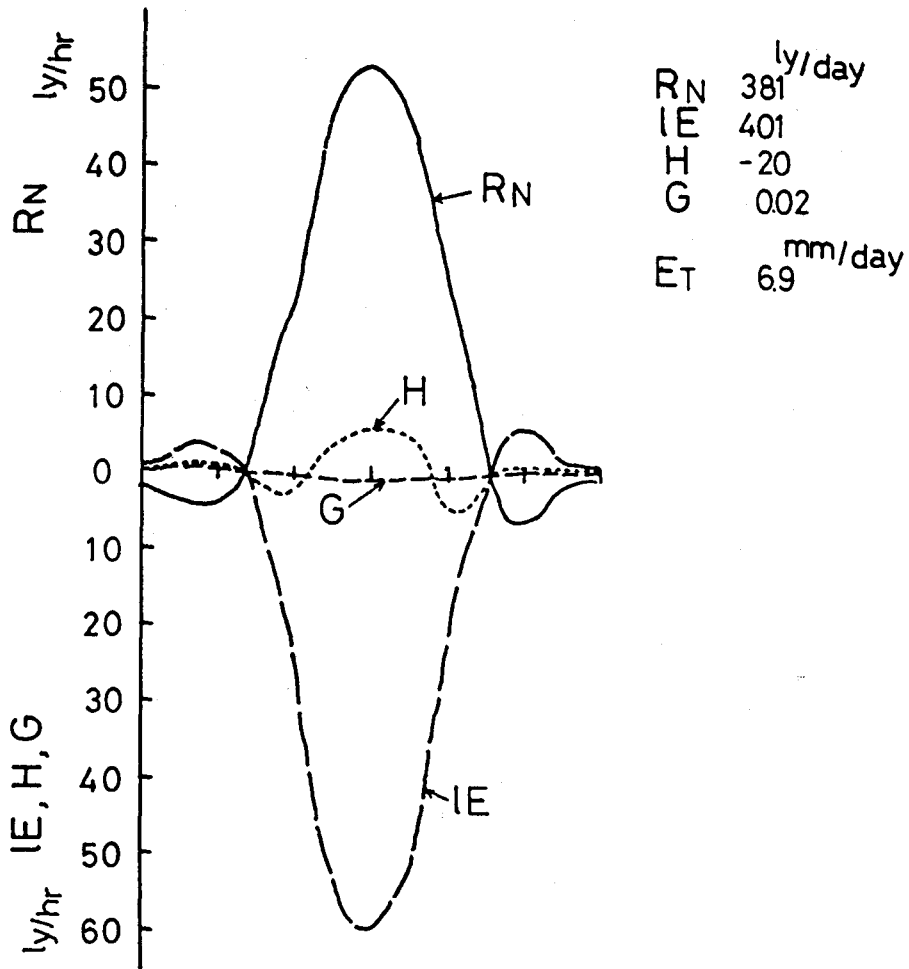
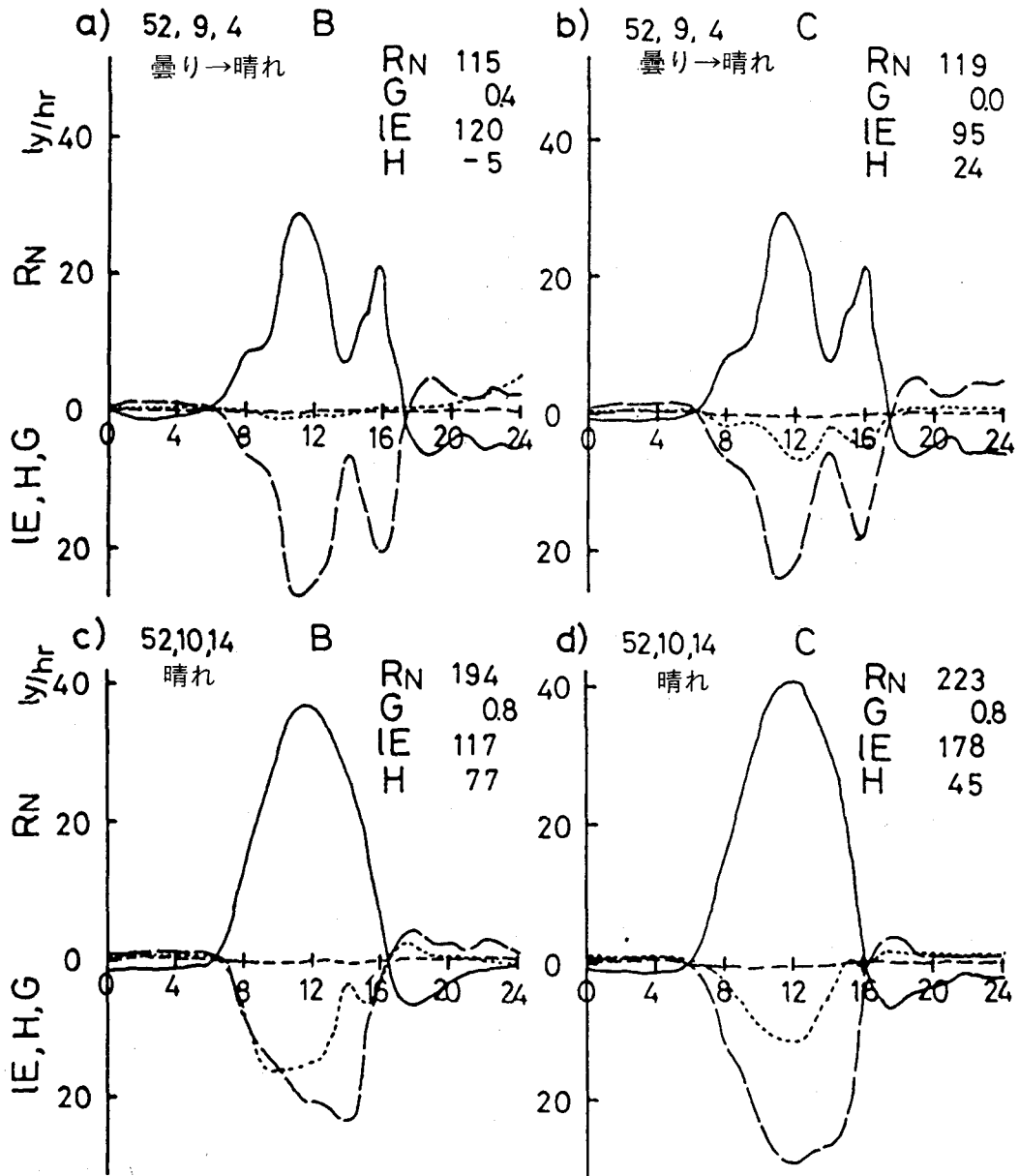


図-5 熱収支項の日変化観測例2 (B点, 8月10日)

にコンベクションによる熱エネルギーの供給があったことを示している。この点は R_N がやや少なかったことともに、B・C点間のきわだった相違点になっている。

図-4, 5が盛夏期晴天日の状態を示すのに対し、図-6は曇・雨天日や秋の熱収支がどのようになっているかを示している。純放射は雲量に極めて敏感に反応し、曇天日にはその総量が著しく減少するだけでなく、経時的変動がきわめて激しくなる。図-6 a), b)はそのような例の1つである。図は時間平均値を用いて作図されたもので、大きな変化だけしか現れていないが、9時頃の肩状のたるみと14時を中心にした大きな落込みが明瞭である。 R_N の増減と IE の増減はかなりよく対応しているが、 H と R_N の関係はB点とC点で明らかに違っている。C点の H は R_N と類似の日変化を示し、その日量は25 ly/hrであるが、B点のそれは極めて少なく、変化の様子も R_N に無関係といってよい。この H の日変化にみられる相違は、8月10日の観測結果(図-4, 5)と同じ原因に基づくものと推定され、この時点でもB点においてはコン



実線: R_N , 長破線: IE , 点線: H , 短破線: G

図-6 熱収支項の日変化観測例3

ベクションによる熱エネルギーの供給が無視できない役割を果していると思われる。

図-6 c), d) は10月中旬の晴天日に観測された熱収支項の日変化を示している。d)の日変化は図-4と類似のパターンを示すが、 R_N の日量は8月10日の418 lyに対して、10月14日のそれは223 lyにすぎない。すなわち純放射の総量は8月上旬に比べて約半分に減少している。また、 G は絶対値が小さいために、図-6からはその変動の様子がはっきりしないが、樹冠の密

閉度が高かった8月に比べると、昼間の地中への熱伝導がかなり旺盛になっている。

R_N の日変化はB点においてもC点(図-6 d))と同様のパターンを示しているが、 LE 、 H の変化には少し違った状態がみられる。C点では純放射の約80%が LE に配分され、その最大値は約30 ly/hrで、12時に出現している。これに対し、B点の LE_{max} は14時頃に出現し、日量では R_N の約60%にすぎない。これは8時から12時までの LE が比較的小さな値になっていることによるもので、この間 H がかなり高い値で経過し、9時前後の1時間は $H > LE$ の関係になっているのがみられる。この LE と H の関係は、8月10日の観測結果(図-5)と比べても著しく異なるものである。すなわち8月10日の観測では日中の H が負の値になり、 $R_N < LE$ となつて、コンベクションによる熱エネルギーの補給が考えられたが、図-6 c)の結果は逆にコンベクションによる熱エネルギーの放出が大きかったことを示唆している。すなわち、図-4~5を通じて、C点に比べてB点においてはコンベクションによる外部環境との熱交換が盛んで、気温や水蒸気圧勾配の安定性が小さいことが示されている。これにはB点周辺の植生の状態、樹冠の密度、林床植生の種類、密度などのほか周辺の無立木地の状態、作業用道路の位置・風みちとしての機能なども関係していると推定される。いずれにしても、熱収支項の日変化は植被の微小な状態変化をよく反映していることは明らかで、その分析が道路予定地の伐採やその後の道路建設の影響を把握するうえで有用な手段であることを示唆している。

(1) 熱収支項と蒸発散量の季節変化

全蒸発散量 ET (mm/day) は LE の日量から、次式によって求めることができる。

$$ET = 10 \cdot LE / (597.3 - 0.6 \cdot T_s) \quad (6)$$

ただし、 LE は日量であり、 T_s は地表面温度 (°C) である。

また、可能蒸発散量 PE (mm/day) は、よく知られているようにPENMANの次式によって推定される¹⁾。

$$PE = (\Delta \cdot HT + \gamma \cdot E_a) / (\Delta + \gamma / (S \cdot D)) \quad (7)$$

ここで、 Δ = 気温の点における飽和水蒸気圧曲線の勾配 ($\Delta e / \Delta t$, mmHg/°C), γ = 乾温計定数 (0.49 mmHg/°C), $HT = R_N - G$ (mm/day 換算) である。ただし、 $E_a = 0.35 (1 + 0.54 \cdot u_2) \cdot (e_a - e_d)$ (mmHg) である。また、 $S = L_a / (L_a + 0.16)$, $D = N / 24 + \sin (N / 24)$ である。なお、 u_2 = 高度 2 m の風速、 e_a , e_d はそれぞれ気温および露点温度における飽和水蒸気圧であり、 $L_a = 0.56 (1 + 0.54 \cdot u_2)$, N = 日照時間である。耕地(牧草畑)の PE は $R_N - G$ と密接な関係にあり、湿潤な気象・土壌条件下では $PE = E_{max}$ ($E_{max} = R_N - G$ の水深換算値)になる²⁾。

熱収支項(日量)の季節変化を図-7, 8に、 ET , PE の季節変化を図-11および12に示す。

図-7はB点における観測結果である。各項とも経日的に大きな変動を示すが、大略の傾向として次のことが指摘できる。(1)8月中~下旬の R_N は300~350 ly/dayの水準にあるが、9月上旬以後やや急激に減少し、10月中旬になると、晴天日でも120~170 ly/dayと8月中旬のそ

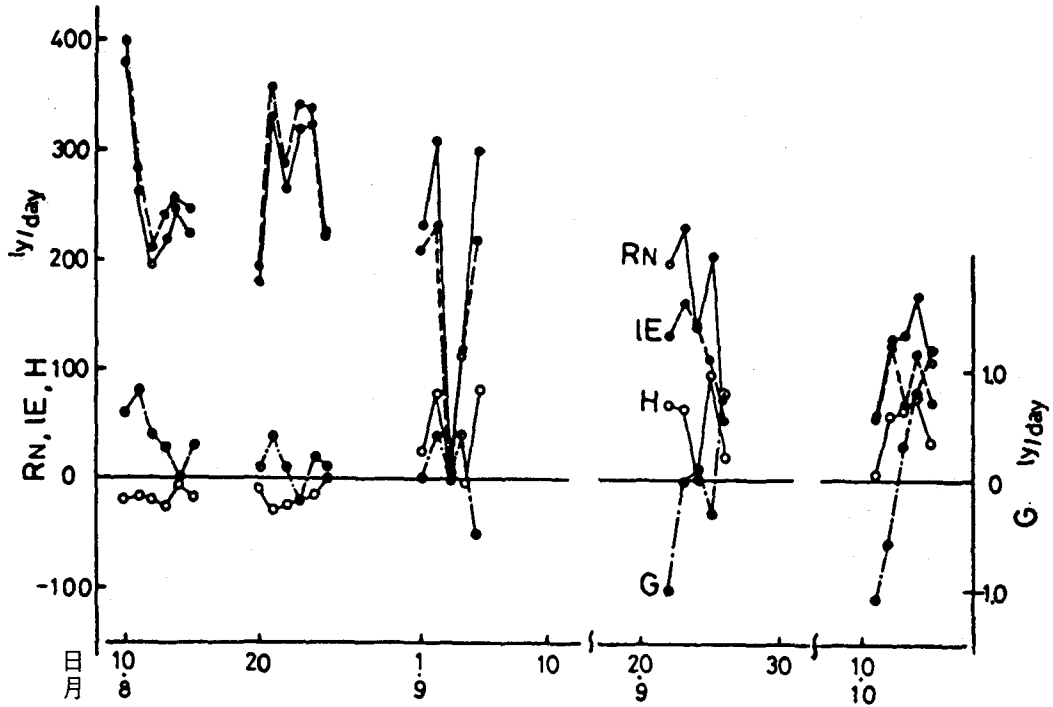


図-7 熱収支項の季節変化 (B点)

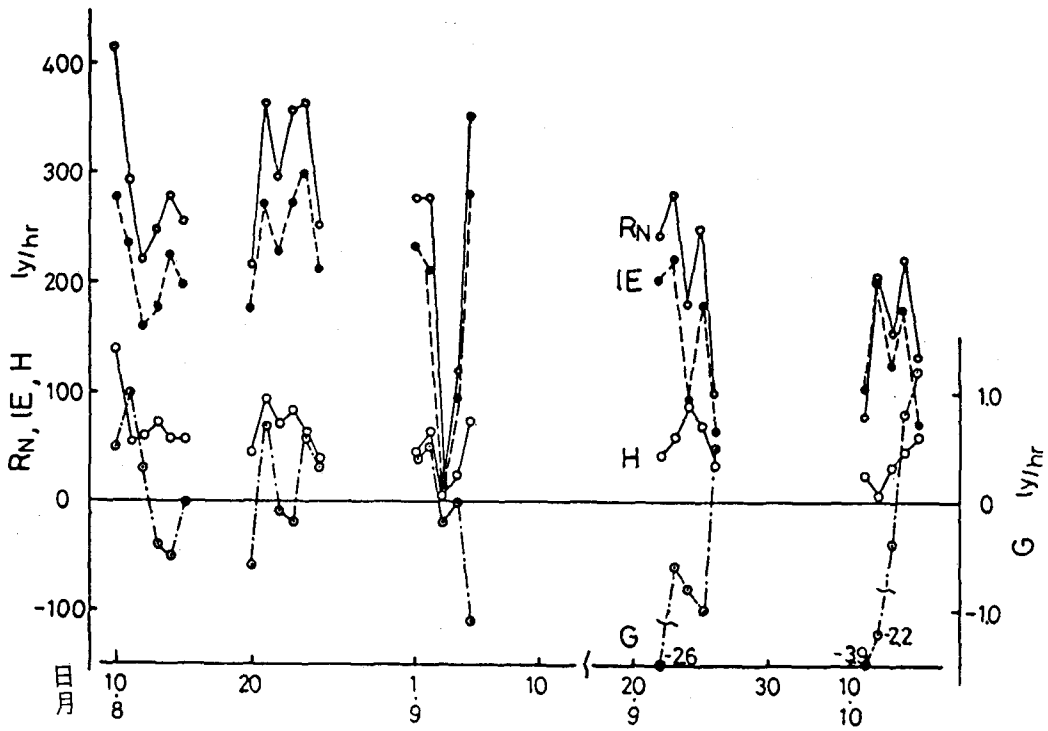


図-8 熱収支項の季節変化 (C点)

れの約50%になる。(2)8月中～下旬は LE の日量が多くなり、更に10月中旬になると、整理されたデータの範囲では、 $LE > R_N$ の日はなくなっている。(3)上述の傾向を反映して、 H は8月中～下旬の -20 ly/day から、秋に向かって漸増する。(4) G の絶対値は 1 ly/day 以下で、小さい値になっているが、9月下旬～10月中旬に向かって変動幅が増大し、地面からの熱エネルギーの放出を示す負の値が多くなっている。(5)約 60 mm の降雨が観測され、終日厚い雲に覆われた9月3日の熱収支項はいずれもきわめて小さな値になっている。

C点(図-8)でもB点と類似の傾向がみられるが、 R_N がB点よりやや多いこと、全集計期間を通じて $R_N > LE$ であること、 G の変動、とくに9月下旬以後のそれがかなり大きく、しばしば 2 ly/day 以上の熱放出が観測されていることなどの点で違っている。 $R_{NC} > R_{NB}$ であることについては前節でも触れたが、この相違は地表面のアルベド(反射率)の違いに由来するものである。図-9は併設した日射・反射計の観測値から求めたアルベドである。日中(10～15時)についてみると、B点のアルベドが13%程度であるのに対し、C点のそれは7%内外とB点の半分程度になっている。B点のアルベドがC点のそれより高い傾向は9月～10月の観測値でもほぼ同様に観察されるので、 $R_{NC} > R_{NB}$ の結果はB点地表面の反射率がC点のそれより高いことによるものとして説明できる。

$R_{NC} > R_{NB}$ であるのに反して、 LE_B と LE_C の間には一定の傾向がみられない。8月中は R_N

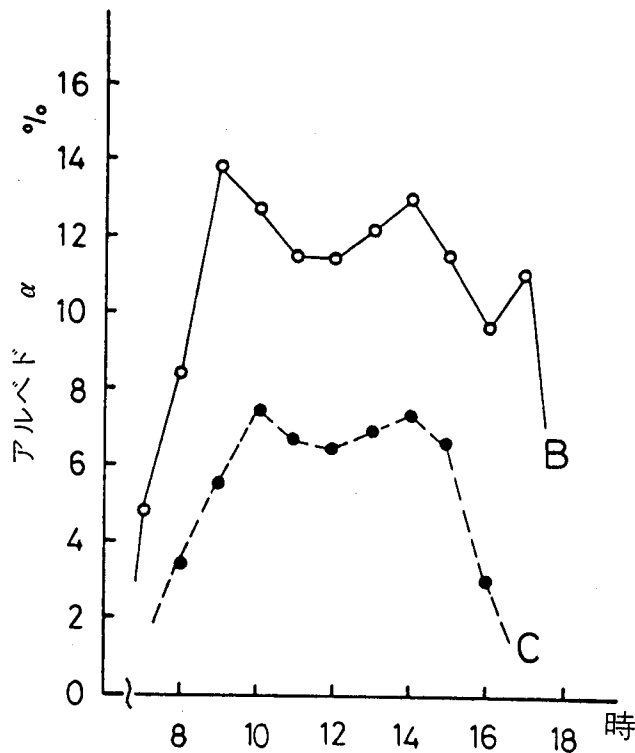


図-9 日中のアルベドの比較(8月10日)

とは逆に $IE_B > IE_C$ であるが、9月上旬にはほぼ等しく、9月下旬～10月中旬には $IE_C > IE_B$ の関係が一般的になる。耕地や草地では IE/R_N が70～80%になることは前述のとおりであるが、今回の結果では、必ずしもそうになっていない。すなわち、図-10に示したように、C点については IE/R_N 比は0.82程度と見ることができるが、B点のそれは1.1～0.7の値になっている。すなわち、8月上～中旬の観測値の多くは $IE/R_N > 1$ であるが、9月上旬を移行期として、9月

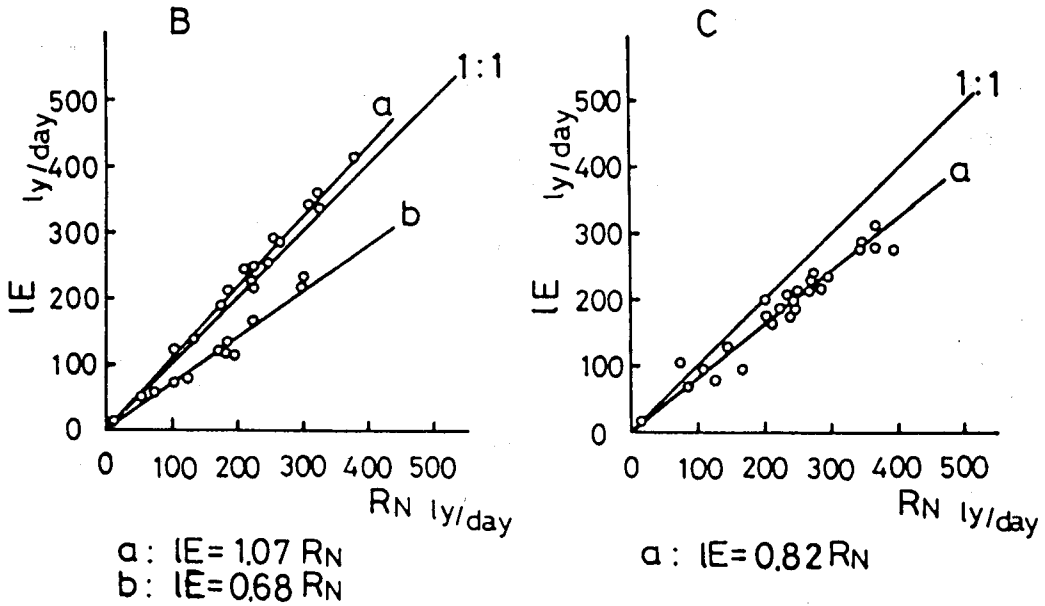


図-10 純放射と潜熱伝達量の関係

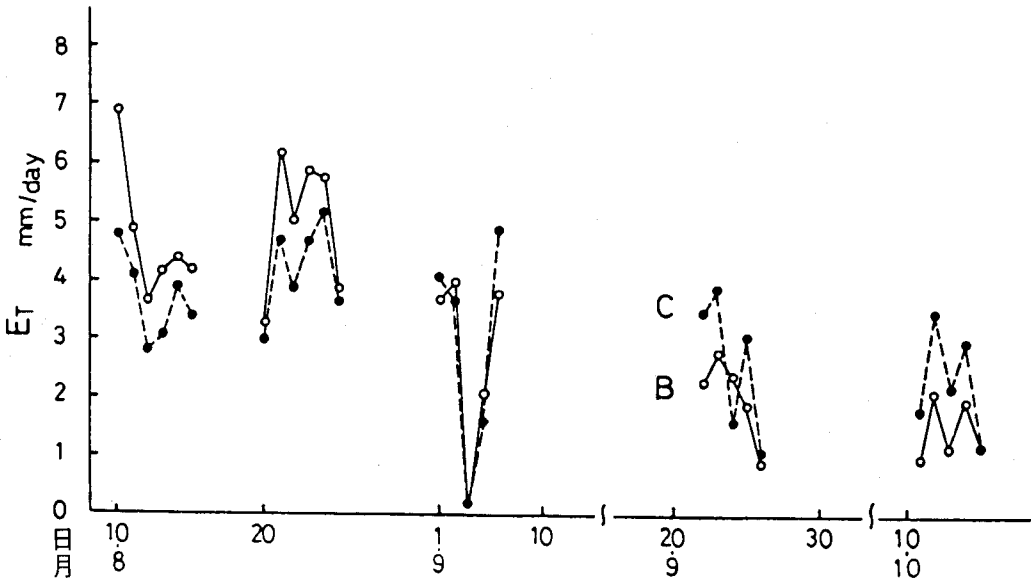


図-11 全蒸発散量の季節変化

下旬～10月中旬のそれは0.7内外の値になる。B点の LE/R_N が、何故このように大きな変動を示すかは現在のところよくわからない。 $LE > R_N$ の条件がコンベクションによる移入熱エネルギーと関係しているであろうことは前項でも指摘したところであるが、このコンベクションがどのような性格のものかは今後の調査・観測を通じて究明しなければならない点である。

全蒸発散量 ET は LE と地表面温度 T_s の関数であるが、(6)式から明らかなように T_s の寄与は比較的小さい。したがって、日平均値でみた ET の季節変化は、上述の LE の季節変化とほぼ同様のパターンを示している。図-11の結果はおおよそ次のように要約できる。(1) B点の ET は8月中は5～6 mm/dayであるが、秋に向って急減し、10月中旬の観測結果は平均約1.5 mm/dayになっている。(2) C点では8月中旬から9月上旬にかけて4～5 mm/dayの ET 値であるが、9月下旬～10月中旬にはやや減って2.5～3 mm/day程度になっている。(3) しかしB点に比べてC点の ET 減少割合(盛夏期～秋期)は小さい。図-12に示した PE (可能蒸発散量)は E_{max} にほぼ等しく、8月の4 mm/day内外から、秋に向かって漸減し、10月中旬のそれは約2 mm/dayになる。B～C点間の差はごく小さい。

(2) 林内の温度環境と熱収支

図-13, 14は8月10日の観測値から、気温および地温の垂直分布とその変化を要約したものである。また、図-15, 16は8月10日, 10月14日両日の気温・地温の日変化を示したものである。気温の日変化については、垂直方向の変化が少ないので、一部の観測値だけを示してある。これらの結果から次のことがわかる。(1) 最低気温は早朝(4～5時)に観測され、最高気温は10～13時にかけて現れる。(2) 林内では高度4～6mの観測値が高い値を示し、4～8mの気温傾度はC点>B点の傾向にある。B点の気温傾度は夜間きわめて小さく、早朝には逆転しているケースがみられる。(3) 地温の変動幅は表層で大きく、下層で小さい値になっており、最低

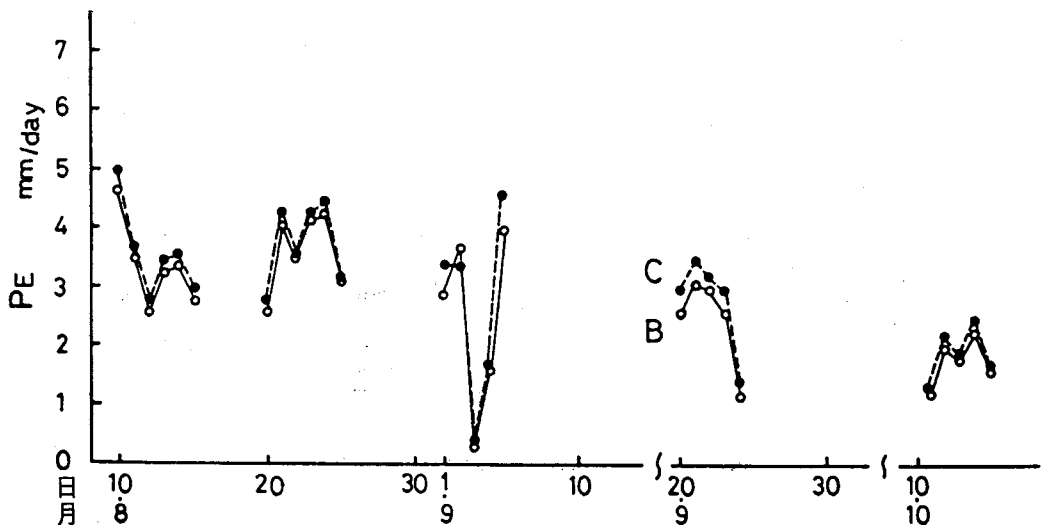


図-12 可能蒸発散量の季節変化

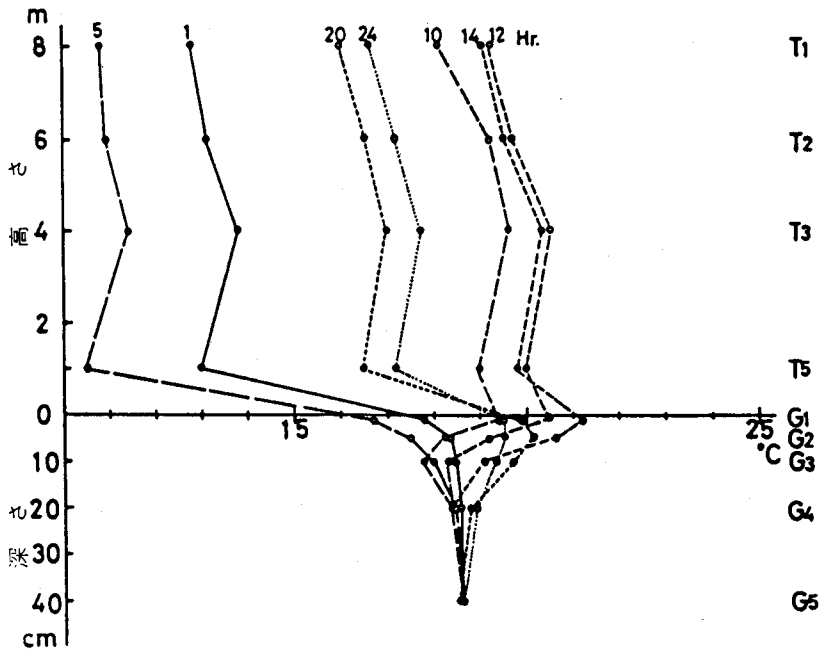


図-13 気温・地温の垂直分布 (B点, 8月10日)

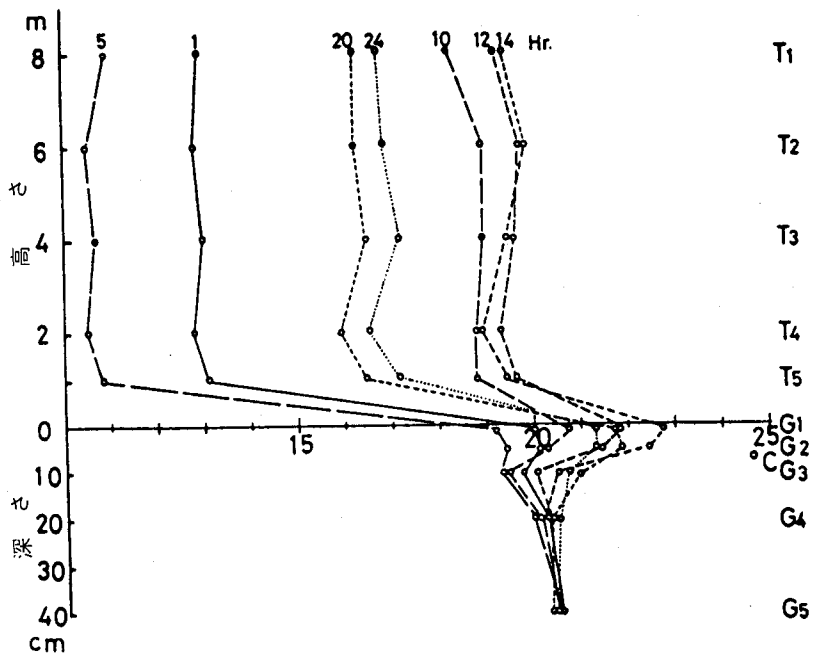


図-14 気温・地温の垂直分布 (C点, 8月10日)

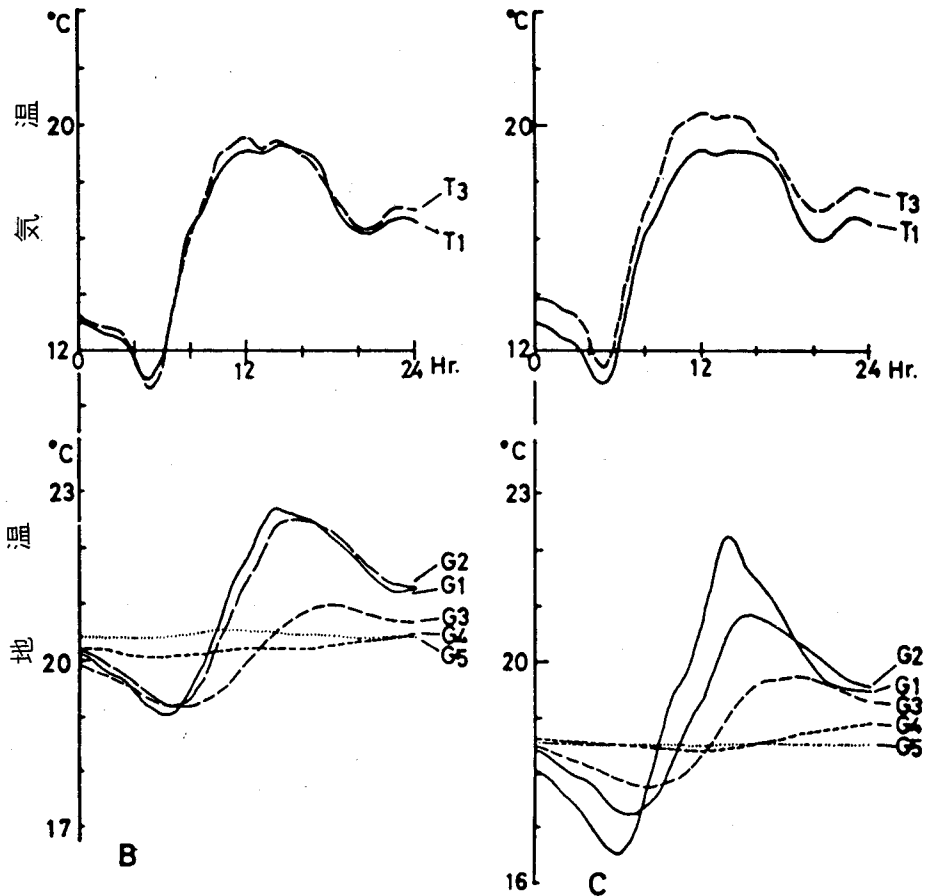


図-15 気温・地温の日変化 (8月10日)

値, 最高値の出現時間は, 表層 (1 cm) でも, 気温のそれに比べて1~2時間遅れる。(4)表層10 cm までの地温の振幅は, B 点>C 点の関係にある。(5)この関係は気温にも認められ, 8月10日に比べて10月14日のそれがより顕著である。(6)地下40 cm の地温は両地点とも日変動が少なく, その振幅は $0.3^{\circ}\text{C}/\text{day}$ 以内である。(7)地下40 cm 地温の長期的変動は, 8月10日と10月14日の観測値の差としてみるかぎり, 両地点とも約 5.5°C であって, 差は認められない。(8)両地点の地温変動の相違は, 図-17, 18にみられるように, 地中熱伝導量が大幅に違うことに基づくものである。

以上のように, 林内温度環境は地点によってかなり違っており, 概していえば B 点より C 点のほうが, 変動幅, 傾度ともに大きいといえる。これは, 気温に関しては B 点のほうが, C 点よりもコンベクションによる平準化が早いことを, また地温については, B 点の表層土壌の熱伝導率が C 点に比べて小さいことを示している。地温については, 樹冠下の純放射にも注意する必要がある。樹冠下の純放射は, EM_3 によって測定されているが, 10月14日12時の

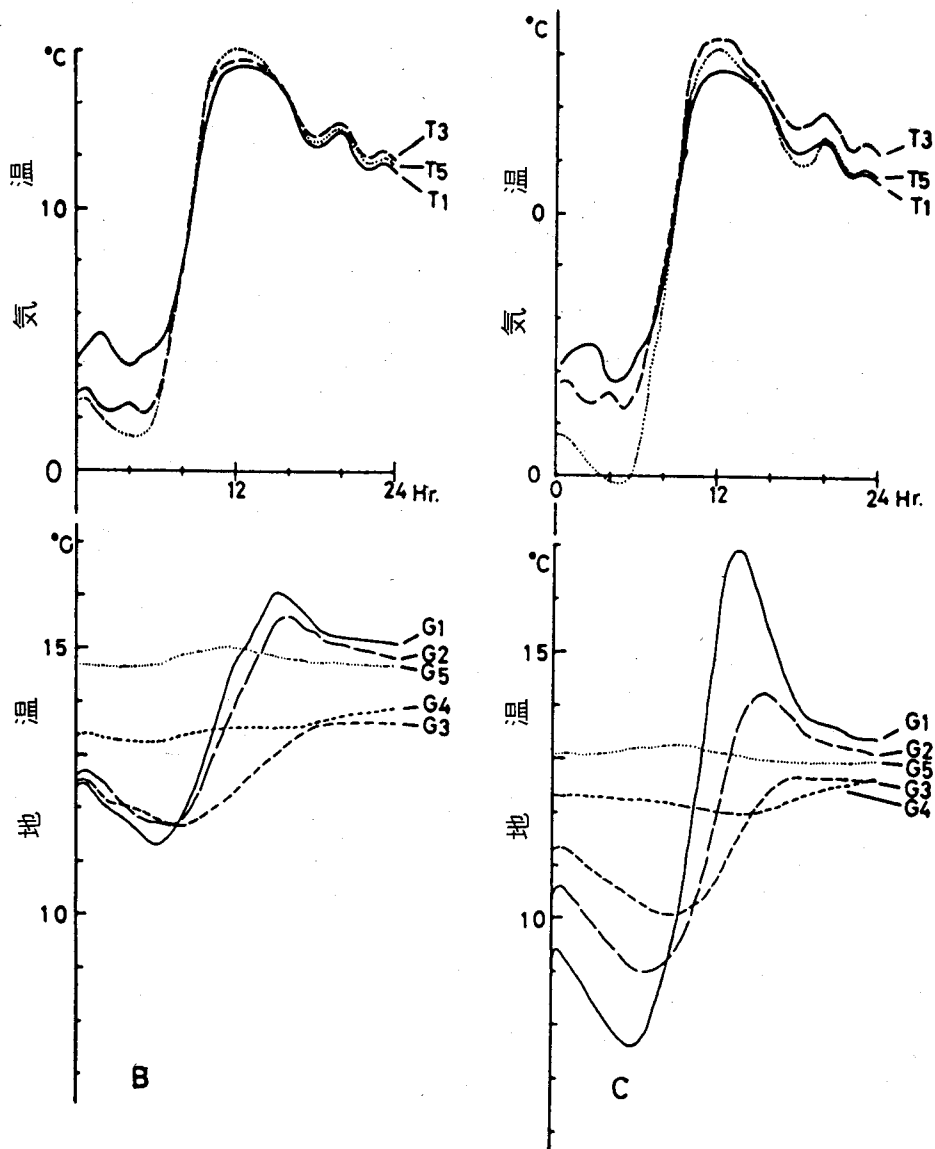
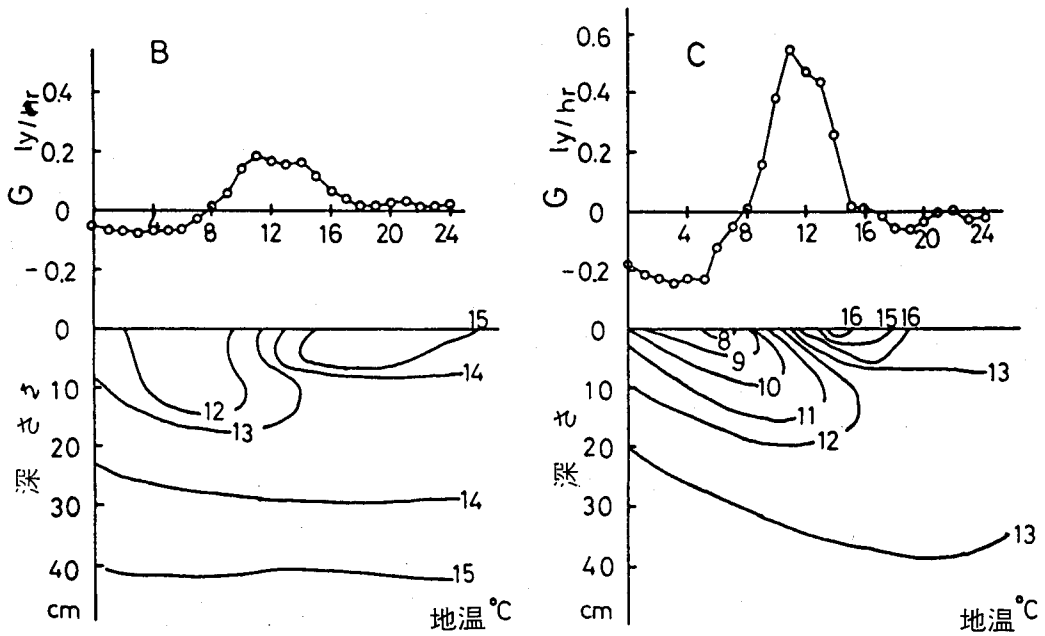
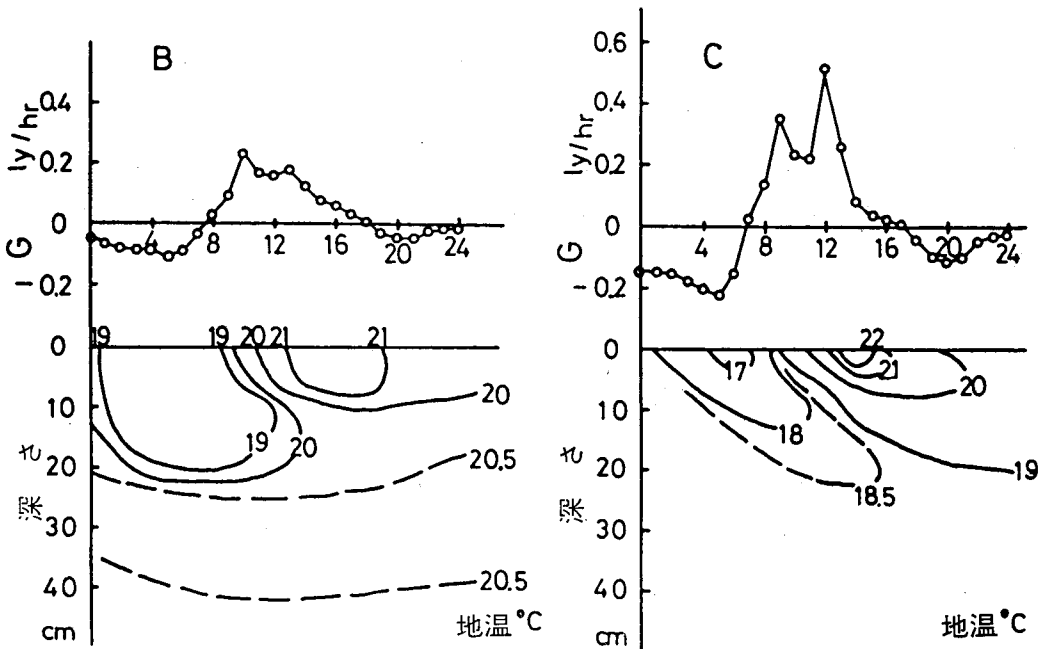


図-16 気温・地温の日変化 (10月14日)

観測結果は、B点 15 ly/hr であるのに対して、C点のそれは 19 ly/hr であって、B点に比べて約30%多くなっている。8月10日はC点が欠測で、直接比較できないが、その後の観測値からみると、盛夏期には両地点間にあまり大きな差はないと見られる。したがって、図-15, 17にみられる地温状況の差は、表層土壌の熱伝導性の違いによるもので、図-16, 18にみられる差は、これに入射エネルギー量の違いが重複した結果生じたものと考えられる。



図一17 地中伝導熱量の日変化と地温の等値線図 (8月10日)



図一18 地中伝導熱量の日変化と地温の等値線図 (10月14日)

5. 移送及び貯留熱量を考慮した解析

5-1. 解析法の考え方

前項では、植被層内の水平輸送熱量および貯留熱量を無視した近似式によって熱収支の解析をおこない、それに基づいて蒸発散量を推定したが、この方法では林縁部における熱エネルギーの転流を推定するさいに、無視できない誤差を生ずる可能性がある。本項では、林縁の気温、湿度、風速を補足観測するとともに既存情報を援用して、植被層内のエネルギー収支を含めた解析法の適用を試みた。

5-2 F_v, F_l, S_1, S_2, S_3 項の推定

森林内の熱交換を示す F_v ほか4つの熱収支項はそれぞれ次のように表される。

$$F_v = \int_0^z \frac{z l \varepsilon}{R} \nabla H \left(\frac{ue}{T} \right) dz \quad (8)$$

$$F_l = \int_0^z C_p \nabla H (\rho u T) dz \quad (9)$$

$$S_1 = \int_0^z C_{p_c} \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right) \cdot dz \quad (10)$$

$$S_2 = \int_0^z C_p \rho \left(\frac{\partial T}{\partial t} \right) dz \quad (11)$$

$$S_3 = \int_0^z \frac{l \varepsilon}{RT} \cdot \left(\frac{\partial e}{\partial t} \right) \cdot dz \quad (12)$$

これらの各項を、現在の林内微気象観測データから推定するために、植被層を下層 (0~4 m, 樹冠より低い部分)、中層 (4~7 m, 樹冠部分)、上層 (7~9 m, 樹冠と大気との境界層) の3層に区分して、(8)~(12)式を適用する。したがって、たとえば(10)式については、

$$S_1 = \sum_{i=1}^3 C_{p-i} \cdot \rho_{c-i} \left(\frac{\Delta T_{p-i}}{\Delta t} \right) \cdot z_i \quad (13)$$

のようにして、植物体の熱容量 C_{p-i} 、植物体の平均密度 ρ_{c-i} 、植物体温 T_i ($i=1, 2, 3$, 層番号) から S_1 を推定することになる。

各項の決定に必要なパラメータはそれぞれ次の各項である。

F_v ; l = 水の蒸発潜熱

T_s = 蒸発面温度

ε = 水と空気のモル比

R = 気体常数

u = 水平方向の風速

e = 水蒸気張力

F_l ; C_p = 湿潤空気の定圧熱容量

- ρ = 湿潤空気の密度
 u = 水平方向の風速
 T = 林内気温
 $S_1; C_p$ = 植物体の熱容量
 ρ_c = 植物体の平均密度
 T_p = 植物体温度
 t = 時間

T_p は桑畑における観測結果⁵⁾により、

$$T_p = T - 13.1 / (e + 1.12) \cdot (1 + 1.42) \quad (14)$$

として推定する。

$S_2; C_p, \rho, T$ (F_1 の項参照)

$S_3; l, \epsilon, R, T, e$ (F_0 の項参照)

これらのうち、 $l, \epsilon, R, C_p, \rho$ は常数であり、温度、気圧、水蒸気張力の観測結果から計算により求めることができる。また、 T, e については3高度の実測結果を用い、 u は樹冠上の風速と林内の微風速計による林内風速の観測値から、風速分布の式

$$u = 5.75 v \cdot \log(Z - d) / Z_0 \quad (15)$$

によって各高度の風速を内そうして求める。

C_p, ρ_c については、これまでのところ実測例がないので、暫定的に次の値をもちいる。

	C_i	ρ_c
	cal/g/deg	g/cm ³
i 1	0.95	0.0005
2	0.95	0.0015
3	0.90	0.0010

また、 u, T, e の勾配は、林縁から林内に向かう方向を主軸と考え、林縁における補足観測の結果を援用して10 m, 50 m 地点についてそれぞれ推定する。時間単位は原則として1時毎とし、観測値は時間値をもちいる。

5-3. 観測結果の解析例

表-1に6月下旬のデータを用いて試算した結果を示す。試算の範囲では、水平輸送、貯留熱量変化を示す熱収支項の推定値は、純放射 (R_N)、潜熱伝達量 (LE)、顕熱伝達量 (H) に比べて小さい値になっているが、水平輸送熱量を示す2項は林内の風速分布を推定する方法によって大幅に変化する可能性があるため、今後、多くの事例について試算あるいは数値実験を重ねて改善していく必要がある。

表-1は中間的な結果であるが、B点とC点では放射状態にかなり顕著な違いがあること、

表—1.1 輸送・貯留熱量を含めた熱収支・水収支項の試算例
(気温, 水蒸気圧, 相対湿度, 飽差等)

STATION-B DATE 1978. 6. 28

ELEMENT HOUR	TD-1	TD-2	TD-3	TD-4	TD-5	Tw-1	Tw-2	Tw-3	Tw-4	Tw-5	ESw -1	ESw -2	ESw -3	ESw -4	ESw -5
	°C										mmHg				
1	15.17	15.97	15.67	16.16	16.07	13.28	13.50	13.09	13.98	13.49	11.44	11.61	11.30	11.97	11.60
2	15.07	15.87	15.57	16.06	15.87	13.08	13.40	12.89	13.88	13.39	11.29	11.53	11.15	11.90	11.52
3	14.68	15.47	15.17	15.66	15.67	12.88	13.10	12.69	13.58	13.19	11.14	11.31	11.01	11.67	11.37
4	14.68	15.47	15.17	15.66	15.57	12.78	13.00	12.59	13.58	13.09	11.07	11.23	10.94	11.67	11.30
5	14.38	15.17	14.88	15.26	15.27	12.58	12.80	12.39	13.28	12.79	10.93	11.09	10.79	11.44	11.08
6	14.68	15.47	15.27	15.76	15.77	12.88	13.20	12.79	13.68	13.29	11.14	11.38	11.08	11.74	11.45
7	16.07	16.67	16.97	17.46	17.27	13.98	14.40	13.99	14.97	14.49	11.97	12.30	11.98	12.77	12.37
8	17.67	18.67	18.57	19.06	18.87	15.37	15.99	15.28	16.67	15.98	13.10	13.63	13.03	14.24	13.63
9	19.77	20.57	20.37	21.16	20.67	17.07	18.19	16.68	18.97	17.58	14.60	15.67	14.25	16.45	15.08
10	20.77	21.77	21.37	22.36	21.67	18.17	19.29	17.08	20.07	18.08	15.65	16.78	14.61	17.62	15.56
11	21.07	21.97	21.57	22.76	21.97	18.57	19.39	17.28	20.47	18.28	16.05	16.89	14.80	18.06	15.76
12	22.37	23.27	22.87	23.46	22.77	19.77	20.69	17.98	21.07	18.78	17.29	18.30	15.46	18.74	16.26
13	21.77	22.67	22.37	23.46	22.37	19.27	20.09	17.38	20.97	18.38	16.76	17.64	14.89	18.62	15.86
14	20.87	21.77	21.57	22.26	21.37	18.47	19.19	16.88	19.77	17.68	15.95	16.68	14.43	17.29	15.18
15	20.27	21.07	20.87	21.66	20.47	17.87	18.59	16.38	19.07	16.98	15.36	16.07	13.98	16.56	14.52
16	19.97	20.77	20.47	20.96	19.87	17.57	18.19	15.98	18.57	16.48	15.07	15.67	13.63	16.05	14.07
17	19.27	20.07	19.67	20.16	19.37	16.87	17.49	15.48	17.77	15.98	14.42	15.00	13.20	15.26	13.63
18	18.07	18.87	18.37	18.76	18.27	15.77	16.29	14.59	16.37	15.08	13.44	13.90	12.45	13.97	12.86
19	16.47	17.27	16.77	17.36	17.27	14.48	14.90	13.59	15.17	14.29	12.37	12.71	11.67	12.94	12.22
20	15.87	16.67	16.17	16.66	16.67	13.88	14.20	13.29	14.58	13.99	11.90	12.14	11.45	12.45	11.98
21	15.07	15.67	15.07	15.26	15.07	13.08	13.20	12.39	13.08	12.49	11.29	11.38	10.79	11.29	10.86
22	13.48	14.58	14.08	14.27	14.08	12.18	12.20	11.49	12.28	11.39	10.64	10.66	10.17	10.72	10.10
23	13.98	14.38	13.98	13.97	13.88	11.98	12.00	11.39	11.88	11.09	10.51	10.52	10.10	10.44	9.91
24	14.18	14.88	14.48	14.77	14.58	12.38	12.50	11.99	12.78	12.09	10.79	10.87	10.51	11.07	10.58
GOUKEI	416.14	435.02	427.33	440.36	430.73	364.20	375.76	345.55	386.47	358.34	314.18	324.95	297.67	334.90	308.74
HEIKIN	17.34	18.13	17.81	18.35	17.95	15.17	15.66	14.40	16.10	14.93	13.09	13.54	12.40	13.95	12.86

ELEMENT HOUR	VP-1	VP-2	VP-3	VP-4	VP-5	RH-1	RH-2	RH-3	RH-4	RH-5	SD-1	SD-2	SD-3	SD-4	SD-5
	mmHg					ratio					mmHg				
1	10.17	9.94	9.56	10.50	9.86	0.89	0.86	0.85	0.88	0.85	1.27	1.66	1.74	1.47	1.74
2	9.95	9.87	9.35	10.43	9.85	0.88	0.86	0.84	0.88	0.86	1.34	1.66	1.80	1.47	1.67
3	9.94	9.71	9.34	10.26	9.70	0.89	0.86	0.85	0.88	0.85	1.21	1.60	1.67	1.40	1.67
4	9.80	9.57	9.20	10.26	9.63	0.88	0.85	0.84	0.88	0.85	1.27	1.66	1.74	1.40	1.67
5	9.72	9.49	9.12	10.11	9.41	0.89	0.86	0.85	0.88	0.85	1.21	1.60	1.67	1.33	1.67
6	9.94	9.85	9.41	10.34	9.78	0.89	0.87	0.85	0.88	0.85	1.21	1.53	1.67	1.40	1.67
7	10.57	10.77	9.98	11.10	10.50	0.88	0.88	0.83	0.87	0.85	1.41	1.53	2.00	1.67	1.87
8	11.43	11.84	10.82	12.64	11.69	0.87	0.87	0.83	0.89	0.86	1.68	1.80	2.20	1.60	1.94
9	12.79	14.08	11.77	14.99	13.01	0.88	0.90	0.83	0.91	0.86	1.81	1.60	2.47	1.47	2.07
10	13.91	15.12	11.74	16.08	13.16	0.89	0.90	0.80	0.91	0.85	1.74	1.66	2.88	1.53	2.41
11	14.37	15.16	11.92	16.52	13.29	0.90	0.90	0.81	0.92	0.84	1.68	1.73	2.88	1.53	2.47
12	15.55	16.57	12.19	17.13	13.59	0.90	0.91	0.79	0.91	0.84	1.74	1.73	3.28	1.60	2.67
13	15.09	15.91	11.55	16.95	13.18	0.90	0.90	0.78	0.91	0.83	1.68	1.73	3.34	1.67	2.67
14	14.34	14.95	11.28	15.62	12.70	0.90	0.90	0.78	0.90	0.84	1.61	1.73	3.14	1.67	2.47
15	13.75	14.41	10.97	14.82	12.18	0.90	0.90	0.78	0.90	0.84	1.61	1.66	3.01	1.74	2.34
16	13.46	13.94	10.62	14.45	11.79	0.89	0.89	0.78	0.90	0.84	1.61	1.73	3.01	1.60	2.27
17	12.81	13.27	10.39	13.66	11.35	0.89	0.88	0.79	0.90	0.83	1.61	1.73	2.81	1.60	2.27
18	11.90	12.17	9.91	12.37	10.72	0.89	0.88	0.80	0.89	0.83	1.54	1.73	2.54	1.60	2.14
19	11.03	11.11	9.54	11.47	10.21	0.89	0.87	0.82	0.89	0.84	1.34	1.60	2.14	1.47	2.00
20	10.55	0.48	9.51	11.05	10.18	0.89	0.86	0.83	0.89	0.85	1.34	1.66	1.94	1.40	1.80
21	9.95	9.72	8.99	9.82	9.13	0.88	0.85	0.83	0.87	0.84	1.34	1.66	1.80	1.47	1.74
22	9.44	9.06	8.44	9.38	8.30	0.89	0.85	0.83	0.88	0.82	1.21	1.60	1.74	1.33	1.80
23	9.30	8.92	8.37	9.04	8.04	0.89	0.85	0.83	0.87	0.81	1.21	1.60	1.74	1.40	1.87
24	9.58	9.28	8.84	9.74	8.91	0.89	0.85	0.84	0.88	0.84	1.21	1.60	1.67	1.33	1.67
GOUKEI	279.33	285.20	242.81	298.73	260.18	21.32	20.98	19.64	21.34	20.22	34.85	39.76	54.86	36.16	48.56
HEIKIN	11.64	11.88	10.12	12.45	10.84	0.89	0.87	0.82	0.89	0.84	1.45	1.66	2.29	1.51	2.02

表-1.2 輸送・貯留熱量を含めた熱収支・水収支項の試算例
(熱収支項, アルベド)

STATION-B DATE 1978. 6. 28

ELEMENT	SOL	REF	RN-1	RN-2	RN-3	GHF -1	GHF -2	Æ	H	HLHF -1	HLHF -2	HLHF -3	HLHF -S	HSHF -1	HSHF -2
HOUR	ly/hr														
1	0.21	2.63	0.48	1.31	0.0	-0.05	0.00	-0.41	-0.07	0.01	0.00	-0.01	0.00	0.18	0.07
2	0.21	2.60	0.48	1.43	0.0	-0.05	0.00	-0.41	-0.07	0.00	0.00	-0.00	0.01	0.10	0.07
3	0.21	2.54	0.48	1.31	0.0	-0.05	0.00	0.23	-0.72	0.00	0.00	-0.02	-0.01	0.14	-0.02
4	0.21	2.51	0.24	1.19	-0.12	-0.05	0.00	-0.21	-0.04	0.00	0.00	-0.00	0.00	0.09	0.06
5	1.17	2.51	0.61	1.43	0.12	-0.05	0.00	-0.52	-0.09	0.00	0.00	-0.00	0.00	0.09	0.06
6	4.88	2.78	4.73	3.46	0.97	-0.05	0.00	-4.02	-0.71	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	0.05
7	19.66	3.49	13.57	7.40	1.95	-0.05	-0.01	-5.72	-7.85	0.00	0.00	0.00	0.01	0.10	0.08
8	20.78	4.01	14.67	6.21	2.92	-0.05	-0.03	-7.51	-7.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
9	27.54	4.96	23.76	8.00	5.97	-0.05	-0.06	-18.14	-5.62	0.01	0.00	-0.01	0.00	0.15	0.07
10	43.20	6.03	28.12	13.97	12.79	-0.05	-0.07	-19.94	-8.18	0.01	0.00	-0.01	0.00	0.13	0.03
11	52.81	6.92	39.51	34.39	15.83	-0.05	-0.08	-25.07	-14.44	0.01	0.00	-0.03	-0.01	0.16	-0.02
12	54.96	7.44	41.09	16.48	6.70	-0.05	-0.09	-28.48	-12.60	0.02	0.00	-0.03	-0.00	0.17	-0.01
13	53.62	7.61	38.66	12.78	7.06	-0.05	-0.09	-24.86	-13.81	0.02	0.00	-0.04	-0.01	0.19	-0.03
14	48.80	7.56	34.78	8.72	4.63	-0.05	-0.08	-20.38	-14.40	0.02	0.01	-0.00	0.03	0.19	0.15
15	41.98	7.16	29.21	7.64	2.80	-0.05	-0.06	-17.84	-11.37	0.02	-0.00	-0.05	-0.03	0.19	-0.08
16	33.15	6.52	22.06	12.66	2.07	-0.05	-0.05	-11.50	-10.56	0.02	-0.00	-0.06	-0.05	0.19	-0.18
17	22.99	5.72	13.70	3.70	1.58	-0.05	-0.04	-6.95	-6.74	0.02	-0.00	-0.05	-0.03	0.22	-0.08
18	10.70	4.87	4.97	2.75	0.49	-0.05	-0.03	-1.77	-3.19	0.02	0.00	-0.04	-0.02	0.19	-0.05
19	5.29	4.04	-0.61	1.07	-0.24	-0.05	-0.01	0.26	0.35	0.01	0.00	-0.02	-0.00	0.16	0.02
20	2.28	3.58	-1.82	0.60	-0.49	-0.05	-0.00	1.55	0.27	0.00	0.00	-0.02	-0.02	0.09	-0.06
21	2.28	3.30	-1.45	0.72	-0.49	-0.05	0.00	1.24	0.22	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.03
22	1.24	2.91	-1.33	0.72	-0.49	-0.05	0.02	1.13	0.20	0.00	0.00	-0.00	0.00	0.01	0.00
23	0.31	2.57	-0.24	1.07	-0.24	-0.05	0.03	0.21	0.04	0.00	0.00	-0.00	0.00	0.10	0.05
24	0.21	2.36	0.61	1.31	-0.12	-0.05	0.02	-0.52	-0.09	0.00	0.00	-0.00	0.01	0.12	0.08
GOUKEI	448.71	106.60	306.27	150.32	63.70	-1.21	-0.61	-189.64	-116.64	0.24	0.06	-0.99	-0.09	3.00	0.26
HEIKIN	18.70	4.44	12.76	6.26	2.65	-0.05	-0.03	-7.90	-4.86	0.01	0.00	-0.02	-0.00	0.12	0.01

ELEMENT	HSHF -3	HSHF -S	HSP -1	HSP -2	HSP -3	HSP -S	HSA -1	HSA -2	HSA -3	HSA -S	HSV -1	HSV -2	HSV -3	HSV -S	BETA
HOUR	ly/hr														
1	-0.19	0.06	-0.00	-0.00	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-1.75
2	-0.00	0.17	-0.00	-0.00	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-4.69
3	-0.43	-0.31	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.0	0.0	-0.00	-0.00	-0.00	0.0	-0.00	-0.00	-1.72
4	-0.00	0.15	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-1.72
5	-0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	-1.70
6	0.09	0.19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	-4.54
7	0.04	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	1.40
8	0.08	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.04	0.96
9	-0.23	-0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00	0.00	0.00	0.00	0.31
10	-0.23	-0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.40
11	-0.47	-0.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.56
12	-0.43	-0.27	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.0	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.43
13	-0.56	-0.39	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.01	-0.00	-0.02	0.54
14	-0.05	0.29	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.01	0.72
15	-0.75	-0.64	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.60
16	-1.07	-1.06	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.01	0.82
17	-0.85	-0.72	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.01	-0.00	-0.02	0.86
18	-0.69	-0.55	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.02	1.47
19	-0.34	-0.16	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	4.62
20	-0.44	-0.40	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.01	-0.01	-0.03	-5.41
21	-0.09	-0.12	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.01	-0.02	-1.26
22	0.00	0.02	0.00	-0.00	0.00	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.78
23	-0.03	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	-0.78
24	-0.00	0.19	0.00	0.00	-0.00	0.00	0.00	0.00	-0.00	0.00	0.02	0.00	-0.10	-0.08	-1.13
GOUKEI	-6.65	-3.39	0.00	0.00	-0.00	-0.00	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.02	-0.00	-0.11	-0.10	-11.81
HEIKIN	-0.28	-0.14	0.00	0.00	-0.00	-0.00	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	0.00	-0.00	-0.00	-0.00	-0.49

表-1.3 輸送・貯留熱量を含めた熱収支項・水収支項の試算例
(土壌温度, 熱的特性, 蒸発散量, 土壌水分吸引圧等)

STATION-B DATE 1978. 6. 28

ELEMENT	ST-2	ST-5	ST-10	ST20	ST-40	RAM-DA	AL-PHA-1	AL-PHA-2	AL-PHA-3	AL-PHA-4	HR	ET	PE	EA	SMM
HOUR	C°										mm/hr				
1	18.30	18.90	19.80	19.30	18.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.01	0.00	0.0
2	18.20	18.80	19.70	19.30	18.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.01	0.00	0.0
3	18.10	18.80	19.60	19.30	18.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.00	0.01	0.00	0.0
4	18.00	18.70	19.50	19.30	18.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.0
5	17.90	18.60	19.40	19.20	18.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.01	0.01	0.0
6	17.90	18.50	19.30	19.20	18.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.07	0.06	0.08	0.0
7	18.00	18.50	19.30	19.20	18.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.10	0.15	0.23	0.0
8	18.30	18.60	19.30	19.20	18.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.13	0.17	0.25	0.0
9	18.90	18.80	19.30	19.20	18.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.31	0.28	0.41	0.0
10	19.40	19.10	19.40	19.20	18.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.34	0.35	0.48	0.0
11	19.80	19.40	19.50	19.20	18.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.43	0.48	0.68	0.0
12	20.30	19.80	19.70	19.20	18.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.49	0.51	0.70	0.0
13	20.80	20.20	20.00	19.20	18.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.43	0.48	0.66	0.0
14	21.60	20.70	20.30	19.30	18.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.35	0.43	0.59	0.0
15	21.20	21.00	20.60	19.30	18.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.30	0.36	0.50	0.0
16	20.90	20.90	20.70	19.30	18.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.20	0.27	0.38	0.0
17	20.80	21.90	20.90	19.40	18.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.12	0.17	0.23	0.0
18	20.50	20.80	20.90	19.50	18.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.03	0.07	0.08	0.0
19	20.10	20.60	20.90	19.50	18.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.00	0.00	-0.01	0.0
20	19.70	20.40	20.90	19.60	18.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.03	-0.01	-0.03	0.0
21	19.30	20.20	20.80	19.60	18.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.02	-0.01	-0.02	0.0
22	18.90	19.90	20.70	19.60	18.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.02	-0.01	-0.02	0.0
23	18.60	19.60	20.50	19.60	18.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.00	0.00	-0.00	0.0
24	18.40	19.30	20.30	19.60	18.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.01	0.01	0.0
GOUKEI	463.90	471.00	481.30	464.30	439.20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.24	3.81	5.24	0.0
HEIKIN	19.33	19.63	20.05	19.35	18.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.14	0.16	0.22	0.0

ELEMENT	TEN-1	TEN-2	TEN-3	TEN-4	TEN-5	SM-1	SM-2	SM-3	SM-4	SM-5	DP-1	DP-2	DP-3	DP-4	DP-5
HOUR	cm H ₂ O					%					cm H ₂ O/cm				
1	101.42	79.70	48.48	33.79	82.80	42.05	23.73	27.01	20.37	24.70	-3.61	-3.65	-3.30	0.72	2.92
2	101.42	79.70	48.48	33.79	82.80	42.05	23.73	27.01	20.37	24.70	-3.61	-3.65	-3.30	0.72	2.92
3	101.42	79.70	48.48	30.02	82.80	42.05	23.73	27.01	20.93	24.70	-3.61	-3.65	-3.48	0.72	3.22
4	97.60	79.70	48.48	33.79	82.80	41.78	23.73	27.01	20.37	24.70	-3.15	-3.46	-3.30	0.72	2.92
5	101.42	79.70	48.48	30.02	82.80	42.05	23.73	27.01	20.93	24.70	-3.61	-3.65	-3.48	0.72	3.22
6	101.42	75.88	48.48	26.25	85.60	42.05	23.87	27.01	21.25	24.64	-4.06	-3.65	-3.48	0.86	3.75
7	101.42	79.70	48.48	26.25	85.60	42.05	23.73	27.01	21.25	24.64	-3.61	-3.65	-3.67	0.86	3.75
8	101.42	75.88	52.30	26.25	85.60	42.05	23.87	26.80	21.25	24.64	-4.06	-3.46	-3.48	0.66	3.75
9	101.42	79.70	52.30	26.25	82.80	42.05	23.73	26.80	21.25	24.70	-3.61	-3.46	-3.67	0.52	3.52
10	105.24	79.70	48.48	26.25	82.80	41.90	23.73	27.01	21.25	24.70	-4.06	-3.84	-3.67	0.72	3.52
11	109.06	83.52	48.48	26.25	82.80	41.77	23.60	27.01	21.25	24.70	-4.06	-4.03	-3.86	0.72	3.52
12	109.06	87.34	48.48	30.02	82.80	41.77	23.48	27.01	20.93	24.70	-3.61	-4.03	-3.87	0.72	3.22
13	116.70	87.34	52.30	26.25	82.80	41.51	23.48	26.80	21.25	24.70	-4.52	-4.22	-4.05	0.52	3.52
14	120.52	87.34	52.30	26.25	82.80	41.39	23.48	26.80	21.25	24.70	-4.98	-4.41	-4.05	0.52	3.52
15	124.34	87.34	52.30	26.25	82.80	41.27	23.48	26.80	21.25	24.70	-5.44	-4.60	-4.05	0.52	3.52
16	124.34	91.16	52.30	26.25	80.00	41.27	23.36	26.80	21.25	24.75	-4.98	-4.60	-4.25	0.38	3.30
17	128.16	87.34	56.12	22.48	82.80	41.15	23.48	26.61	21.63	24.70	-5.90	-4.60	-4.24	0.33	3.83
18	124.34	91.16	56.12	26.25	80.00	41.27	23.36	26.61	21.25	24.75	-4.98	-4.41	-4.25	0.19	3.30
19	120.52	91.16	56.12	26.25	82.80	41.39	23.36	26.61	21.25	24.70	-4.52	-4.22	-4.25	0.33	3.52
20	120.52	94.98	48.48	30.02	80.00	41.39	23.24	27.01	20.93	24.75	-4.06	-4.60	-4.25	0.58	3.00
21	116.70	91.16	44.66	26.25	80.00	41.51	23.36	27.24	21.25	24.75	-4.06	-4.60	-4.25	0.77	3.30
22	116.70	91.16	44.66	26.25	82.80	41.51	23.36	27.24	21.25	24.70	-4.06	-4.60	-4.25	0.91	3.52
23	112.88	94.98	44.66	26.25	82.80	41.64	23.24	27.24	21.25	24.70	-3.15	-4.41	-4.44	0.91	3.52
24	112.88	91.16	44.66	26.25	82.80	41.64	23.36	27.24	21.25	24.70	-3.61	-4.41	-4.25	0.91	3.52
GOUKEI	2670.92	2046.50	1194.08	663.93	1984.40	1000.50	565.19	646.72	506.50	592.74	-98.93	-97.84	-93.13	15.52	81.64
HEIKIN	111.29	85.27	49.75	27.66	82.68	41.69	23.55	26.95	21.10	24.70	-4.12	4.08	-3.88	0.65	3.40

表-1.4 輸送・貯留熱量を含めた熱収支項・水収支項の試算例
(土壌水分ポテンシャル勾配, 林縁気象要素等)

STATION-B DATE 1978. 6. 28

ELEMENT	DF-1	DF-2	DF-3	DF-4	DF-5	HC-1	HC-2	HC-3	HC-4	HC-5	Q-1	Q-2	Q-3	Q-4	Q-5	
HOUR	cm H ₂ O/cm					cm/day					cm/day					
1	-2.20	-1.75	-1.17	-1.12	-0.91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	-2.20	-1.75	-1.17	-1.12	-0.91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	-2.20	-1.75	-1.14	-1.12	-0.91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	-2.17	-1.74	-1.17	-1.12	-0.91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	-2.20	-1.75	-1.14	-1.12	-0.91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	-2.18	-1.75	-1.13	-1.12	-0.91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	-2.20	-1.75	-1.12	-1.12	-0.91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	-2.18	-1.76	-1.13	-1.11	-0.91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	-2.20	-1.76	-1.12	-1.11	-0.91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	-2.18	-1.74	-1.12	-1.12	-0.91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	-2.18	-1.74	-1.12	-1.12	-0.91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	-2.20	-1.74	-1.13	-1.12	-0.91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	-2.16	-1.74	-1.11	-1.11	-0.91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	-2.15	-1.73	-1.11	-1.11	-0.91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	-2.13	-1.72	-1.11	-1.11	-0.91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	-2.15	-1.72	-1.11	-1.10	-0.91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	-2.12	-1.73	-1.09	-1.10	-0.91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	-2.15	-1.73	-1.11	-1.09	-0.91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	-2.16	-1.74	-1.11	-1.10	-0.91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	-2.18	-1.72	-1.12	-1.11	-0.91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	-2.18	-1.71	-1.11	-1.12	-0.91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	-2.18	-1.71	-1.11	-1.13	-0.91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23	-2.21	-1.72	-1.10	-1.13	-0.91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24	-2.19	-1.72	-1.11	-1.13	-0.91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
GOUKEI	-52.24	-41.69	-26.93	-26.70	-21.86	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HEIKIN	-2.18	-1.74	-1.12	-1.11	-0.91	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ELEMENT	WS-1	WS-2	WS-3	WS-4	WS-5	TO-1	TO-2	TO-3	EO-1	EO-2	EO-3	WSO-1	WSO-2	WSO-3	
HOUR	m/sec					°C			mmHg			m/sec			
1	2.20	1.73	0.49	0.27	0.70	15.98	15.75	16.36	9.01	11.46	10.49	-0.38	0.05	1.10	-1.75
2	1.70	1.34	0.38	0.13	0.20	15.88	15.78	16.06	8.65	11.28	10.56	-0.15	-0.07	0.20	-2.00
3	3.40	2.67	0.76	0.44	1.20	15.41	15.25	15.96	8.85	11.22	10.49	0.09	0.44	2.10	-1.72
4	1.10	0.86	0.25	0.06	0.00	15.48	15.38	15.86	8.65	11.11	10.24	-0.19	-0.11	0.00	-1.72
5	1.50	1.18	0.34	0.08	0.00	15.18	14.98	15.56	8.57	10.95	9.84	-0.08	-0.08	0.00	-1.70
6	1.20	0.94	0.27	0.06	0.00	15.58	15.35	16.06	8.86	11.08	10.40	0.04	-0.08	-0.20	-2.00
7	1.20	0.94	0.27	0.11	0.20	17.36	16.80	17.36	9.34	12.72	11.50	-0.25	-0.12	0.10	1.40
8	0.50	0.39	0.11	0.07	0.20	19.03	18.15	18.66	10.26	15.21	12.80	0.10	0.01	0.0	0.96
9	1.00	0.79	0.22	0.16	0.50	20.60	19.87	20.46	11.09	19.96	14.77	-0.57	-0.02	0.90	0.31
10	2.90	2.28	0.65	0.28	0.60	21.90	21.57	21.66	10.94	22.78	15.37	-0.06	0.13	1.00	0.40
11	2.50	1.96	0.56	0.42	1.30	21.95	22.10	22.26	11.26	23.94	15.66	-0.31	0.32	2.10	0.56
12	3.00	2.36	0.67	0.51	1.60	23.40	21.92	23.16	11.38	25.39	16.12	-0.31	0.34	2.30	0.43
13	3.80	2.99	0.85	0.53	1.50	22.82	22.54	22.96	10.49	25.43	15.71	-0.28	0.38	2.50	0.54
14	3.70	2.91	0.83	0.39	0.90	22.10	22.10	22.06	10.49	22.72	15.08	-0.27	-0.02	0.90	0.72
15	3.50	2.75	0.79	0.63	2.00	21.48	22.37	21.16	10.11	21.29	14.30	-0.30	0.61	3.40	0.60
16	3.80	2.99	0.85	0.82	2.80	21.00	21.42	20.16	9.52	20.54	13.65	-0.28	0.96	4.80	0.82
17	3.80	2.99	0.85	0.71	2.30	20.05	20.50	19.76	9.44	18.79	12.90	-0.43	0.71	4.00	0.86
18	3.40	2.67	0.76	0.58	1.80	18.83	18.60	18.46	8.91	16.12	12.03	-0.34	0.56	3.20	1.47
19	2.40	1.87	0.54	0.37	1.10	16.93	16.95	17.46	8.67	14.00	11.12	-0.30	0.25	1.80	2.00
20	1.30	1.02	0.29	0.27	0.90	16.26	15.88	16.56	8.58	12.97	10.97	-0.16	0.35	1.80	-2.00
21	0.20	0.16	0.04	0.06	0.20	14.86	14.60	14.56	7.78	10.55	9.55	0.08	0.12	0.40	-1.26
22	0.50	0.39	0.11	0.03	0.00	14.08	14.23	14.37	7.62	10.21	8.38	0.05	0.00	0.00	-0.78
23	1.70	1.34	0.38	0.15	0.30	13.98	13.80	14.27	7.42	9.35	8.02	-0.10	0.00	0.40	-0.78
24	2.20	1.73	0.49	0.16	0.20	14.63	14.73	14.87	8.15	10.37	9.33	-0.10	-0.06	0.20	-1.13
GOUKEI	52.50	41.25	11.79	7.26	20.50	434.78	430.61	436.48	224.05	379.45	289.29	-4.52	4.67	33.00	-5.79
HEIKIN	2.19	1.72	0.49	0.30	0.85	18.12	17.94	18.19	9.34	15.81	12.05	-0.19	0.19	1.38	-0.24

表-1.5 輸送・財留熱量を含めた熱収支・水収支項の試算例
(気温, 水蒸気圧, 相対湿度, 飽差等)

STATION-C DATE 1978. 6. 28

ELEMENT	TD-1	TD-2	TD-3	TD-4	TD-5	Tw-1	Tw-2	Tw-3	Tw-4	Tw-5	ESw -1	ESw -2	ESw -3	ESw -4	ESw -5
HOUR	°C										mmHg				
1	15.31	15.99	15.26	16.49	15.78	13.63	13.81	13.29	13.69	13.00	11.70	11.84	11.45	11.75	11.23
2	15.11	15.79	15.16	16.29	15.68	13.59	13.71	13.19	13.59	12.90	11.68	11.76	11.37	11.67	11.16
3	14.82	15.49	14.87	15.99	15.38	13.23	13.41	12.89	13.29	12.60	11.40	11.54	11.15	11.45	10.94
4	14.82	15.39	14.77	15.89	15.28	13.29	13.41	12.79	13.29	12.60	11.45	11.54	11.08	11.45	10.94
5	14.52	15.19	14.47	15.49	14.98	12.93	13.11	12.59	12.99	12.40	11.18	11.31	10.94	11.23	10.80
6	14.82	15.39	14.87	16.09	15.48	13.29	13.41	12.99	13.49	12.80	11.45	11.54	11.23	11.60	11.09
7	16.11	16.89	16.46	17.99	17.18	14.39	14.51	14.19	14.49	13.90	12.30	12.39	12.14	12.37	11.91
8	17.71	18.49	17.96	19.79	19.08	15.62	15.80	15.38	15.88	15.49	13.31	13.47	13.11	13.54	13.20
9	19.81	20.69	20.06	22.19	20.88	17.12	17.50	16.98	17.38	16.79	14.65	15.00	14.52	14.89	14.35
10	20.11	21.19	20.66	22.99	21.68	16.99	17.70	17.28	17.68	16.99	14.52	15.19	14.80	15.18	14.53
11	20.31	21.39	21.06	23.29	21.68	16.95	17.80	17.48	17.78	16.99	14.49	15.29	14.99	15.27	14.53
12	21.51	22.59	22.16	24.69	22.38	17.38	18.50	18.18	18.38	17.39	14.89	15.98	15.66	15.86	14.90
13	20.71	22.09	21.76	24.19	21.78	16.88	18.00	17.78	17.98	16.89	14.43	15.48	15.27	15.46	14.44
14	19.91	21.29	20.86	22.39	20.68	16.59	17.50	17.08	16.98	16.19	14.16	15.00	14.61	14.52	13.81
15	19.31	20.59	20.06	21.09	19.78	16.32	17.10	16.58	16.18	15.59	13.92	14.63	14.16	13.80	13.29
16	19.21	20.39	19.76	20.59	19.58	15.95	16.80	16.38	15.88	15.39	13.60	14.35	13.98	13.54	13.12
17	18.71	19.79	19.16	19.89	18.98	15.62	16.40	15.88	15.48	14.99	13.31	13.99	13.54	13.20	12.79
18	17.71	18.59	17.76	18.89	18.08	14.72	15.50	14.98	14.79	14.30	12.56	13.21	12.78	12.62	12.22
19	16.41	17.29	16.56	17.69	17.08	14.09	14.61	14.09	14.19	13.70	12.06	12.47	12.06	12.14	11.76
20	16.01	16.79	16.06	17.29	16.78	14.09	14.41	13.89	13.99	13.60	12.06	12.31	11.90	11.98	11.68
21	15.71	16.29	15.36	15.79	15.18	13.69	14.01	13.39	12.99	12.30	11.75	12.00	11.52	11.23	10.73
22	14.32	14.90	14.07	14.30	13.79	12.56	12.81	12.09	11.89	11.20	10.92	11.09	10.58	10.44	9.98
23	14.22	14.70	13.97	14.10	13.49	12.46	12.71	12.09	11.79	10.90	10.84	11.02	10.58	10.37	9.78
24	14.52	15.09	14.27	14.80	14.29	12.83	13.01	12.39	12.49	11.70	11.11	11.24	10.79	10.86	10.31
GOUKEI	411.71	432.31	417.40	448.19	424.97	354.22	365.51	353.85	356.54	340.60	303.76	313.67	304.20	306.41	293.49
HEIKIN	17.15	18.01	17.39	18.67	17.71	14.76	15.23	14.74	14.86	14.19	12.66	13.07	12.67	12.77	12.23

ELEMENT	VP-1	VP-2	VP-3	VP-4	VP-5	RH-1	RH-2	RH-3	RH-4	RH-5	SD-1	SD-2	SD-3	SD-4	SD-5
HOUR	mmHg					ratio					mmHg				
1	10.57	10.37	10.12	9.87	9.36	0.90	0.88	0.88	0.84	0.83	1.13	1.47	1.33	1.88	1.87
2	10.66	10.36	10.05	9.86	9.29	0.91	0.88	0.88	0.84	0.83	1.02	1.40	1.33	1.82	1.87
3	10.34	10.14	9.83	9.63	9.07	0.91	0.88	0.88	0.84	0.83	1.07	1.40	1.33	1.82	1.87
4	10.43	10.20	9.75	9.60	9.14	0.91	0.88	0.88	0.85	0.84	1.02	1.33	1.33	1.75	1.80
5	10.11	9.91	9.68	9.54	9.06	0.90	0.88	0.88	0.85	0.84	1.07	1.40	1.26	1.68	1.74
6	10.43	10.20	9.97	9.85	9.28	0.91	0.88	0.89	0.85	0.84	1.02	1.33	1.26	1.75	1.80
7	11.14	10.79	10.61	10.02	9.71	0.91	0.87	0.87	0.81	0.81	1.16	1.60	1.53	2.35	2.20
8	11.91	11.67	11.38	10.92	10.80	0.89	0.87	0.87	0.81	0.82	1.40	1.80	1.73	2.62	2.41
9	12.84	12.87	12.46	11.67	11.60	0.88	0.86	0.86	0.78	0.81	1.80	2.14	2.06	3.22	2.74
10	12.43	12.86	12.53	11.62	11.39	0.86	0.85	0.85	0.77	0.78	2.10	2.34	2.27	3.56	3.14
11	12.24	12.88	12.59	11.58	11.39	0.84	0.84	0.84	0.76	0.78	2.25	2.41	2.40	3.69	3.14
12	12.13	13.24	12.99	11.63	11.56	0.81	0.83	0.83	0.73	0.78	2.77	2.74	2.67	4.23	3.34
13	11.86	12.74	12.60	11.30	11.16	0.82	0.82	0.83	0.73	0.77	2.57	2.74	2.67	4.16	3.28
14	11.93	12.46	12.08	10.89	10.80	0.84	0.83	0.83	0.75	0.78	2.23	2.54	2.53	3.63	3.01
15	11.91	12.29	11.82	10.51	10.48	0.86	0.84	0.84	0.76	0.79	2.01	2.34	2.33	3.29	2.81
16	11.41	11.95	11.71	10.38	10.31	0.84	0.83	0.84	0.77	0.79	2.19	2.41	2.27	3.16	2.81
17	11.24	11.72	11.34	10.24	10.11	0.84	0.84	0.84	0.78	0.79	2.07	2.27	2.20	2.96	2.67
18	10.56	11.14	10.92	9.86	9.68	0.84	0.84	0.85	0.78	0.79	2.01	2.07	1.86	2.75	2.54
19	10.50	10.67	10.40	9.78	9.48	0.87	0.86	0.86	0.81	0.81	1.56	1.80	1.66	2.35	2.27
20	10.77	10.71	10.44	9.76	9.54	0.89	0.87	0.88	0.81	0.82	1.29	1.60	1.46	2.22	2.14
21	10.40	10.46	10.20	9.34	8.79	0.88	0.87	0.88	0.83	0.82	1.36	1.53	1.33	1.88	1.94
22	9.74	9.69	9.26	8.83	8.24	0.89	0.87	0.87	0.85	0.83	1.18	1.40	1.33	1.62	1.74
23	9.67	9.69	9.32	8.83	8.05	0.89	0.88	0.88	0.85	0.82	1.18	1.33	1.26	1.55	1.74
24	9.97	9.84	9.53	9.32	8.58	0.90	0.88	0.88	0.86	0.83	1.13	1.40	1.26	1.55	1.74
GOUKEI	265.19	268.86	261.56	244.93	236.89	21.01	20.62	20.70	19.30	19.43	38.57	44.81	42.64	61.48	56.60
HEIKIN	11.05	11.20	10.90	10.21	9.87	0.88	0.86	0.86	0.80	0.81	1.61	1.87	1.78	2.56	2.36

表—1.7 輸送・貯留熱量を含めた熱収支項・水収支項の試算例
(土壌温度, 熱的特性, 蒸発散量, 土壌水分吸引圧等)

STATION-C DATE 1978. 6. 28

ELEMENT	ST-2	ST-5	ST-10	ST-20	ST-40	RAM-DA	AL-PHA-1	AL-PHA-2	AL-PHA-3	AL-PHA-4	HR	ET	PE	EA	SMM
HOURLY	°C										mm/hr				
1	19.80	19.90	20.30	19.70	19.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.01	0.00	0.0
2	19.70	19.80	20.30	19.70	19.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.0
3	19.60	19.70	20.20	19.70	19.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.01	0.00	0.0
4	19.50	19.60	20.20	19.70	19.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.0
5	19.40	19.50	20.10	19.70	19.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.0
6	19.40	19.50	20.10	19.70	19.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.06	0.05	0.07	0.0
7	19.50	19.60	20.10	19.70	19.60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.06	0.05	0.07	0.0
8	19.80	19.80	20.10	19.70	19.70	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.18	0.14	0.21	0.0
9	20.20	20.00	20.30	19.80	19.80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.09	0.18	0.26	0.0
10	20.70	20.30	20.40	19.80	19.80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.21	0.34	0.47	0.0
11	21.30	20.80	20.60	19.80	19.80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.32	0.42	0.59	0.0
12	21.70	21.20	20.80	19.80	19.80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.42	0.45	0.62	0.0
13	21.90	21.40	21.00	19.80	19.80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.35	0.44	0.61	0.0
14	22.10	21.70	21.10	19.80	19.80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.25	0.41	0.57	0.0
15	22.30	21.90	21.30	19.80	19.80	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.19	0.35	0.50	0.0
16	22.20	21.90	21.30	19.80	19.70	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.19	0.28	0.39	0.0
17	22.10	21.90	21.40	19.90	19.70	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.12	0.19	0.26	0.0
18	21.80	21.80	21.40	19.90	19.60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.06	0.08	0.10	0.0
19	21.50	21.50	21.30	19.90	19.60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.00	0.00	-0.01	0.0
20	21.20	21.30	21.30	19.90	19.60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.03	-0.02	-0.04	0.0
21	20.90	21.10	21.20	20.00	19.60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.01	-0.02	-0.03	0.0
22	20.50	20.80	21.10	20.00	19.60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.03	-0.01	-0.03	0.0
23	20.20	20.50	20.90	20.00	19.50	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.00	0.00	0.00	0.0
24	20.00	20.30	20.80	20.00	19.60	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.01	0.00	0.0
GOUKEI	497.30	495.80	497.60	475.60	471.40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.48	3.39	4.63	0.0
HEIKIN	20.72	20.66	20.73	19.82	19.64	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.10	0.14	0.19	0.0

ELEMENT	TEN-1	TEN-2	TEN-3	TEN-4	TEN-5	SM-1	SM-2	SM-3	SM-4	SM-5	DP-1	DP-2	DP-3	DP-4	DP-5
HOURLY	cm H ₂ O					%					cm H ₂ O				
1	77.66	88.07	53.82	36.24	34.92	22.53	25.63	27.84	18.91	20.03	0.25	-2.19	-3.59	-1.94	-1.11
2	77.66	88.07	53.82	36.24	34.92	22.53	25.63	27.84	18.91	20.03	0.25	-2.19	-3.59	-1.94	-1.11
3	77.66	88.07	58.00	36.24	34.61	22.53	25.63	27.50	18.91	20.04	0.25	-1.98	-3.59	-2.17	-1.13
4	77.66	88.07	58.00	32.28	30.35	22.53	25.63	27.50	19.07	20.81	0.25	-1.98	-3.79	-2.38	-1.15
5	77.66	88.07	58.00	36.24	34.61	22.53	25.63	27.50	18.91	20.04	0.25	-1.98	-3.59	-2.17	-1.13
6	81.57	88.07	58.00	32.28	30.35	22.29	25.63	27.50	19.07	20.81	-0.22	-2.18	-3.79	-2.38	-1.15
7	77.66	88.07	58.00	36.24	34.61	22.53	25.63	27.50	18.91	20.04	0.25	-1.98	-3.59	-2.17	-1.13
8	77.66	88.07	58.00	36.24	34.61	22.53	25.63	27.50	18.91	20.04	0.25	-1.98	-3.59	-2.17	-1.13
9	77.66	88.07	58.00	36.24	34.61	22.53	25.63	27.50	18.91	20.04	0.25	-1.98	-3.59	-2.17	-1.13
10	77.66	88.07	58.00	40.20	38.86	22.53	25.63	27.50	18.77	19.84	0.25	-1.98	-3.39	-1.96	-1.11
11	73.75	88.07	53.82	40.20	39.18	22.78	25.63	27.84	18.77	19.83	0.72	-2.00	-3.39	-1.73	-1.08
12	77.66	92.00	53.82	40.20	39.18	22.53	25.52	27.84	18.77	19.83	0.72	-2.19	-3.59	-1.73	-1.08
13	77.66	88.00	58.00	44.16	43.12	22.53	25.63	27.50	18.64	19.66	0.25	-1.98	-3.20	-1.74	-1.08
14	69.84	92.00	53.82	44.16	43.44	23.05	25.52	27.84	18.64	19.65	1.66	-1.80	-3.39	-1.52	-1.06
15	73.75	92.93	58.00	44.16	43.12	22.78	25.52	27.50	18.64	19.66	1.19	-1.79	-3.39	-1.74	-1.08
16	77.66	92.00	53.82	44.16	43.44	22.53	25.52	27.84	18.64	19.65	0.72	-2.19	-3.39	-1.52	-1.06
17	77.66	95.93	53.82	44.16	43.44	22.53	25.41	27.84	18.64	19.65	1.19	-2.19	-3.59	-1.52	-1.06
18	81.57	92.00	58.00	44.16	43.12	22.29	25.52	27.50	18.64	19.66	0.25	-2.18	-3.39	-1.74	-1.08
19	81.57	95.93	58.00	44.16	43.12	22.29	25.41	27.50	18.64	19.66	0.72	-2.18	-3.59	-1.74	-1.08
20	89.39	92.00	62.18	36.24	34.29	21.85	25.52	27.29	18.91	20.06	-0.69	-2.36	-3.79	-2.39	-1.16
21	99.39	92.00	62.18	36.24	34.29	21.85	25.52	27.29	18.91	20.06	-0.69	-2.36	-3.79	-2.39	-1.16
22	93.30	95.93	62.18	40.20	38.55	21.64	25.41	27.29	18.77	19.86	-0.68	-2.56	-3.79	-2.18	-1.13
23	93.30	99.86	58.00	40.20	38.86	21.64	25.30	27.50	18.77	19.84	-0.21	-2.76	-3.98	-1.96	-1.11
24	97.21	95.93	62.18	36.24	34.29	21.44	25.41	27.29	18.91	20.06	-1.15	-2.75	-3.98	-2.39	-1.16
GOUKEI	1934.22	2184.42	1379.46	937.08	903.90	536.77	613.13	661.60	451.53	478.85	6.02	-51.74	-86.37	-47.78	-26.65
HEIKIN	80.59	91.02	57.48	39.05	37.66	22.57	25.55	27.57	18.81	19.95	0.25	-2.16	-3.60	-1.99	-1.11

表-1・8 輸送・貯留熱量を含めた熱収支項・水収支項の試算例
(土壌水分ポテンシャル勾配, 林縁気象要素等)

STATION-C DATE 1978. 6. 28

ELEMENT	DF-1	DF-2	DF-3	DF-4	DF-5	HC-1	HC-2	HC-3	HC-4	HC-5	Q-1	Q-2	Q-3	Q-4	Q-5
HOUR	cm H ₂ O/cm					cm/day					cm/day				
1	0.37	-0.73	-1.34	-1.39	-0.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	0.37	-0.73	-1.34	-1.39	-0.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	0.37	-0.75	-1.34	-1.37	-0.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	0.37	-0.75	-1.33	-1.33	-0.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.37	-0.75	-1.34	-1.37	-0.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0.40	-0.74	-1.33	-1.33	-0.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.37	-0.75	-1.34	-1.37	-0.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.37	-0.75	-1.34	-1.37	-0.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.37	-0.75	-1.34	-1.37	-0.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.37	-0.75	-1.34	-1.38	-0.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.34	-0.75	-1.34	-1.40	-0.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.36	-0.73	-1.34	-1.40	-0.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
13	0.37	-0.75	-1.35	-1.39	-0.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
14	0.30	-0.76	-1.34	-1.41	-0.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
15	0.33	-0.76	-1.34	-1.39	-0.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
16	0.36	-0.73	-1.34	-1.41	-0.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
17	0.35	-0.73	-1.34	-1.41	-0.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
18	0.39	-0.74	-1.34	-1.39	-0.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	0.37	-0.74	-1.34	-1.39	-0.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
20	0.44	-0.73	-1.33	-1.36	-0.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
21	0.44	-0.73	-1.33	-1.36	-0.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
22	0.45	-0.72	-1.33	-1.37	-0.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
23	0.44	-0.71	-1.33	-1.38	-0.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
24	0.48	-0.71	-1.32	-1.36	-0.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
GOUKEI	9.16	-17.76	-32.08	-33.14	-21.35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
HEIKIN	0.38	-0.74	-1.34	-1.38	-0.89	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ELEMENT	WS-1	WS-2	WS-3	WS-4	WS-5	TO-1	TO-2	TO-3	EO-1	EO-2	EO-3	WSO-1	WSO-2	WSO-3	
HOUR	m/sec					°C			mmHg			m/sec			
1	2.60	2.29	1.66	0.44	0.30	15.98	15.75	16.36	9.01	11.46	10.49	-0.38	0.05	1.10	-1.70
2	1.70	1.50	1.09	0.29	0.20	15.88	15.78	16.06	8.65	11.28	10.56	-0.15	-0.07	0.20	-1.14
3	2.60	2.29	1.66	0.44	0.30	15.41	15.25	15.96	8.85	11.22	10.49	0.09	0.44	2.10	-1.67
4	1.30	1.14	0.83	0.19	0.00	15.48	15.38	15.86	8.65	11.11	10.24	-0.19	-0.11	0.00	-1.25
5	1.40	1.23	0.90	0.20	0.00	15.18	14.98	15.56	8.57	10.95	9.84	-0.08	-0.08	0.00	-1.65
6	0.90	0.79	0.58	0.17	0.20	15.58	15.35	16.06	8.86	11.08	10.40	0.04	-0.08	-0.20	-1.25
7	1.50	1.32	0.96	0.28	0.30	17.36	16.80	17.36	9.34	12.72	11.50	-0.25	-0.12	0.10	-1.07
8	0.20	0.18	0.13	0.12	0.40	19.03	18.15	18.66	10.26	15.21	12.80	0.10	0.01	0.00	-1.55
9	2.00	1.76	1.28	0.31	0.10	20.60	19.87	20.46	11.09	19.96	14.77	-0.57	-0.02	0.90	2.00
10	2.50	2.20	1.60	0.40	0.20	21.90	21.57	21.66	10.94	22.78	15.37	-0.06	0.13	1.00	1.23
11	2.70	2.38	1.73	0.50	0.50	21.95	22.10	22.26	11.26	23.94	15.66	-0.31	-0.32	2.10	0.82
12	3.10	2.73	1.98	0.65	0.90	23.40	21.92	23.16	11.38	25.39	16.12	-0.31	0.34	2.30	0.48
13	3.70	3.26	2.37	0.65	0.50	22.82	22.54	22.96	10.49	25.43	15.71	-0.28	0.38	2.50	0.77
14	3.60	3.17	2.30	0.72	0.90	22.10	22.10	22.06	10.49	22.72	15.08	-0.27	0.02	0.90	1.26
15	3.50	3.08	2.24	0.64	0.60	21.48	22.37	21.16	10.11	21.29	14.30	-0.30	0.61	3.40	1.66
16	3.70	3.26	2.37	0.71	0.80	21.00	21.42	20.16	9.52	20.54	13.65	-0.28	0.96	4.80	1.08
17	4.00	3.52	2.56	0.71	0.60	20.05	20.50	19.76	9.44	18.79	12.90	-0.43	0.71	4.00	1.09
18	3.50	3.08	2.24	0.59	0.40	18.83	18.60	18.46	8.91	16.12	12.03	-0.34	0.56	3.20	0.74
19	2.60	2.29	1.66	0.46	0.40	16.93	16.95	17.46	8.67	14.00	11.12	-0.30	0.25	1.80	2.00
20	1.40	1.23	0.90	0.20	0.00	16.26	15.88	16.56	8.58	12.97	10.97	-0.16	0.35	1.80	-2.00
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	14.86	14.60	14.96	7.78	10.55	9.55	0.08	0.12	0.40	2.00
22	0.30	0.26	0.19	0.04	0.00	14.08	14.23	14.37	7.62	10.21	8.38	0.05	0.00	0.00	-2.00
23	1.60	1.41	1.02	0.28	0.20	13.98	13.80	14.27	7.42	9.35	8.02	-0.10	0.00	0.40	2.00
24	2.00	1.70	1.28	0.33	0.20	14.63	14.73	14.87	8.15	10.37	9.33	-0.10	0.06	0.20	-2.00
GOUKEI	52.40	46.10	33.52	9.34	8.00	434.78	430.61	436.48	224.05	379.45	289.29	-4.52	4.67	33.00	-0.16
HEIKIN	2.18	1.92	1.40	0.39	0.33	18.12	17.94	18.19	9.34	15.81	12.05	-0.19	0.19	1.30	-0.00

B点の蒸発散量 (ET), 可能蒸発散量 (PE, E_a) がC点よりかなり多く見積もられていること, B点表層部の土壤水分吸引圧がC点のそれに比べてやや高くなっていることなど, 注意すべき現象がいくつか認められる。また, 土壤温度, 土壤水分, 土壤中の水分移動等, 表中に0.0が示されている項目は今後問題が残されたものである。

調査にさいし, 苫小牧地方演習林の杉下義幸技官には, 林内微気象観測を担当願ひ, 同田中夕美子博士には観測データの処理とデータ処理プログラム作成作業の一部を担当していただいた。記して謝意を表する次第である。

なお, 表-1の略号は次のとおりである。

TD : 乾球温度, T_w : 湿球温度, ESW : 湿球温度の点における飽和水蒸気圧, VP : 水蒸気圧, RH : 相対湿度, SD : 飽差, SOL : 日射, REF : 反射, RN : 純放射, GHF : 地中熱伝導量, EL : 潜熱伝達量, H : 顕熱伝達量, $HLHF$: 水平輸送熱量, (潜熱), $HSHF$: 同 (顕熱), HSP : 貯留熱量変化 (植物体), HSA : 同 (空気), HSV : 同 (水蒸気), $BETA$: ボーエン比, ST : 土壤温度, $RAMDA$: 熱伝導率, $ALPHA$: 温度伝導率, HR : 土壤の比熱, ET : 蒸発散量, PE : ペンマン法による可能蒸発散量, EA : RN 相当蒸発散量, SMM : 乾燥指数, TEN : 土壤水分張力, SM : 同水分率, DP : 土壤水分ポテンシャル勾配, Q : 土壤水分フラックス, WS : 風速, TO : 林縁気温, EO : 同水蒸気圧, WSO : 同風速各項に付した数値は高度階層または深さ階層の番号

引用文献

- 1) 佐久間敏雄・小林信也・吉田 亨: 畑土壤の水熱状況とその改善. 北海道開発局土木試験所月報, 202, 1-8, 1970.
- 2) 佐久間敏雄・小林信也・吉田 亨: 畑地における水分および熱の動態 (第1報) 牧草畑の熱収支と蒸発散量. 土肥誌, 46, 507-513, 1975.
- 3) TANNER, C. B.: Energy Balance Approach to Evapotranspiration from Crops. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 24, 1-10, 1960.
- 4) WESSELING, J. van WIJK J., et al.: Land Drainage in Relation to Soils and Crops, Drainage of Agricultural Lands, LUTHIN, J. N. (Ed.), Agron. Monog., VIII, 484-487, Amer. Soc. Agron., 1957.
- 5) 小沢行雄: 防霜法の理論. 農業気象ハンドブック (井上ほか編), 88-103, 養賢堂, 1969.

Summary

To estimate heat balance and evapotranspiration of a deciduous forest in the Tomakomai Experiment Forest, profiles of micro-climatic elements (net radiation, air temperature, air humidity and wind speed) and soil temperature were observed at 10 m (site-B) and 50 m (site-C) from a border of the examined stand, which faces to an open zone formed recently by a partial cutting in the forest. The results obtained are summarized as follows.

(1) Net radiation (R_N) of fair days in mid-summer was generally more than 400 ly/day, and it decreased abruptly to-wards autumn. The daily amounts recorded in the second 10 days of October were about 150 ly/day, which corresponded roughly to about half of those shown

for mid-summer.

(2) The mode of partition of R_N to latent heat flux (I_E), sensible heat flux (H) and ground heat flux (G) was related closely to the structure and situation of the stand. Significant differences in the mode between sites B and C were noticed.

(3) Evapotranspiration (ET) in August often exceeded 6 mm/day at site C, whereas that of site B was in the range from 3 to 5 mm/day. ET decreased slightly in September (2.5~3 mm/day), and in the second 10 days of October it decreased significantly to only 1.5~2 mm/day.

(4) Heat balance of the stand including horizontal fluxes and storage terms, was also estimated. The results indicated that the total amount of these items was usually less than 2 ly/day and, their percentage occupation in the daily amount of R_N was less than 1%. Thus, it was concluded that daily heat balance of a relatively broad area could be estimated by equation (2), even in the case of the stands examined here.

(5) Temperature and humidity regime of the stand and surface soils varied significantly from site to site, reflecting the variation of major items. The difference in values was related closely to the distance from the border. Thus, the heat balance approach is a useful technique to monitor the variation of stand activity.