

牧草地およびアカマツ林における 地下水涵養量と地温分布

Groundwater Recharge Rates and Soil Temperature in Pasture Land and Pine Forest

谷口 真人*

Makoto TANIGUCHI

I はじめに

地球は様々な種類の植物で覆われている。降雨や降雪として地表面に到達した水の一部は、その地域の気象条件等に支配される蒸発のほか、様々な植生に応じて異なる蒸散として大気に還元されている。したがってある一定地域内において、降水量が等しいにもかかわらず、蒸発散量が異なることにより地下水涵養量に違いが生じることが予想される。このことは森林伐採等による植生の改変により、地表面下の水循環が変化し、それに伴う物質循環も変化することを示唆する。

様々な植生下での地下水涵養量の測定は、これまでにも多く行われてきたが(谷口ほか, 1989a; Sharma and Craig, 1987; Sharma *et al.*, 1989), 隣接する植生の異なった地域での水循環・物質循環を取り扱った研究はあまり多くない。そこで植生の改変を行った後の、異なる植生を有する2つの地域において、地下水涵養量の比較を行うと共に、熱輸送、物質輸送の違いを明らかにすることを本研究の目的とする。

II 観測地域の概要

観測対象地域は、筑波大学構内の自然林であるアカマツ林とそのアカマツ林を1975年に伐採して牧草地とした筑波大学水理実験センターの観測圃場であ

る(第1図)。

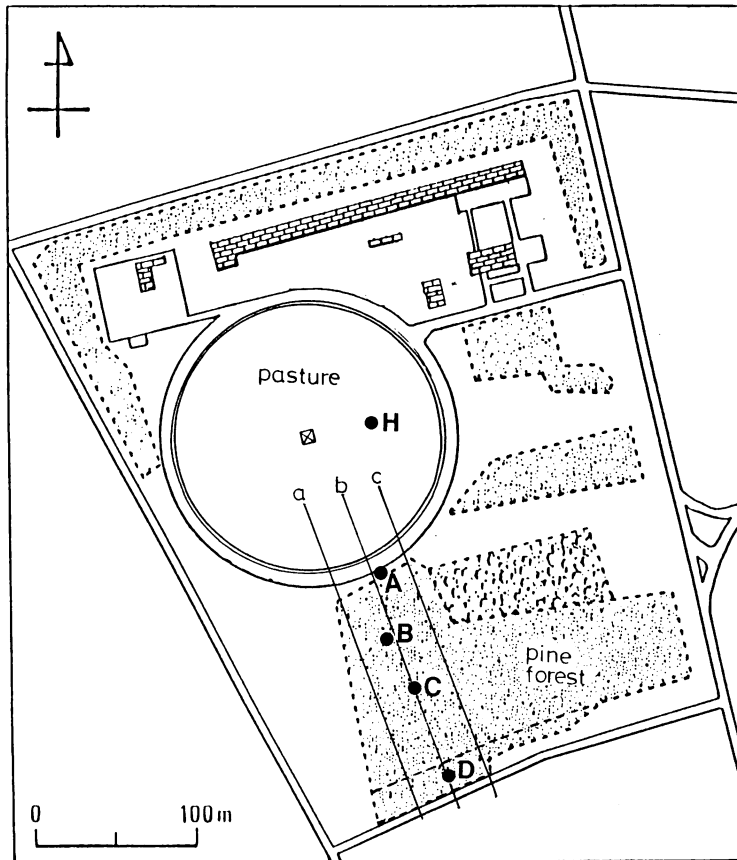
アカマツ林の立木密度は約26.5本/100m², 平均胸高直径は12.4cm, 樹高は約10mである。また葉面積指数(LAI)は4.2-6.6であり、アカマツの他にナラ、ウルシなどの低木類も点在している(間島・田瀬, 1982; 杉田ほか, 1986)。林内の土壌は表層から約25cmまでがA層, 深度1m70cmまでが関東ローム層であり、それ以深には粘土層が存在している。アカマツの根系は表層から40cmまでの深さに集中し、深度80cm以深ではその出現頻度は急激に減少している(出口・田瀬, 1983; 杉田ほか, 1986)。

水理実験センターの観測圃場は、表層から50cmまでは、圃場建設時の盛り土・切り土や転地替え等により若干乱されているが、その下部には関東ローム層(層厚1.5-2.0m)が分布している。この関東ローム層の下部には層厚2-3mの粘土層が存在し、その下部には竜ヶ崎砂礫層が分布している。観測圃場の植生はケンタッキーブルーグラスであり、毎年8月と11月頃に草の刈り取りを行っている。

III 観測方法

観測地点は、牧草地である観測圃場内に1地点(第1図H地点)と、アカマツ林内に3地点(第1図B, C, D地点)、植生の境界に1地点(第1図A地点)の計5地点である。この5ヶ所の観測地点のうち圃

*筑波大学水理実験センター(現:奈良教育大学地学教室)



第1図 観測地域の概略

場内のH地点は、既設の観測井(深度2m, スクリーン深度0.7m—2.0m)および地温計(深度2, 50, 100cm)を用い、その他の4地点については深度約2.2mの観測井(スクリーン深度0.8m—2.2m)を各地点に設けるとともに、C地点の深度2, 50, 100cmに地温計を埋設した。また水理実験センター研究棟屋上で林外雨を、C地点で林内雨および樹幹流を採水した。

地下水位の測定は、H地点では水圧式水位計、A, B, C地点では間隙水圧計を用いて1時間おきに自記記録した。従ってA, B, C地点の地下水位データの処理には、水理実験センター研究棟で測定を行っている気圧のデータを基に、その影響を除去した

形で行った。この他に、1—2週間毎に手測により5地点の地下水位を実測し、自記記録の地下水位とのチェックを行った。地温の測定は、H地点では白金抵抗温度計を、C地点では銅コンスタンタン熱伝対を用いて行い、1時間毎に自記記録した。地下水の採水は5つの観測井において、1—2ヶ月毎に行った。C地点における林内雨および樹幹流の採水および研究棟屋上での林外雨の採水は、1—2週間毎に行った。地下水・林外雨・林内雨・樹幹流のCl⁻濃度の測定は、イオンクロマトグラフ法により行った。

IV 観測結果および考察

1) 地下水涵養量

牧草地である観測圃場の年降水量および年蒸発散量は、1982年から1988年の7年間平均でそれぞれ1108mmと579mmであった(谷口ほか, 1989b)。観測圃場では表面流出はほとんどないため、年間地下水涵養量は529mmとなる。林外降雨の水質については、1989年4月8日から10月29日までの42サンプルについて、それぞれの期間に採集された降水量で重み付けをして計算したところ、平均クロライド濃度は1.13ppmであった(倉橋, 1990)。

牧草地(H地点)およびアカマツ林(A, B, C, D地点)における地下水面直下の地下水のクロライド濃度と、C地点における樹幹流と林内雨のクロライド濃度の測定結果は次のようである。アカマツ林の地下水の平均クロライド濃度は8.29ppm, 牧草地のそれは2.64ppmであった。また樹幹流および林内雨の重み付け平均クロライド濃度はそれぞれ7.52ppmと3.75ppmであった。また、間島・田瀬(1982)によると、本研究対象地域のアカマツ林の樹幹流と林内雨量は、林外雨量のそれぞれ約2%と約73%であることが観測されている。

牧草地である観測圃場とアカマツ林でのクロライド収支式はそれぞれ次のようになる。

$$P_g \times C_p = R_n \times C_{gh} \quad (1)$$

$$T \times C_t + S \times C_s = R_p \times C_{gp} \quad (2)$$

ここで、 P_g は林外雨量、 C_p は林外降雨のクロライド濃度、 R_n は牧草地である観測圃場での地下水涵養量、 C_{gh} は観測圃場の地下水のクロライド濃度、 T は林内降雨量、 C_t は林内降雨のクロライド濃度、 S は樹幹流の量、 C_s は樹幹流のクロライド濃度、 R_p はアカマツ林での地下水涵養量、 C_{gp} はアカマツ林の地下水のクロライド濃度を表す。

式(1)および(2)に、前述した牧草地とアカマツ林でのそれぞれの観測値を代入して、各々の地下水涵養量 R_n , R_p を計算すると、牧草地での年間地下水涵養量は474mm, アカマツ林での年間地下水涵養量は386

mmとなる。年間降水量から年間蒸発散量を引いて求めた牧草地での地下水涵養量が年間529mmであることを考慮すると、牧草地である観測圃場での地下水涵養量はアカマツ林での地下水涵養量の1.23倍から1.37倍となる。

研究対象地域である牧草地とアカマツ林での蒸発散量を比較した研究(Sugita, 1985)によると、1983年7月と8月のアカマツ林からの蒸発散量は牧草地からのその約1.35倍であったことが観測されている。これを地下水涵養量の違いに直すと、牧草地での地下水涵養量がアカマツ林でのその約1.62倍となる。アカマツ林での蒸発散量の長期観測データが無い場合、詳細な議論はここではできないが、クロライド濃度から計算される年間地下水涵養量の比率はこの値より小さい結果となった。

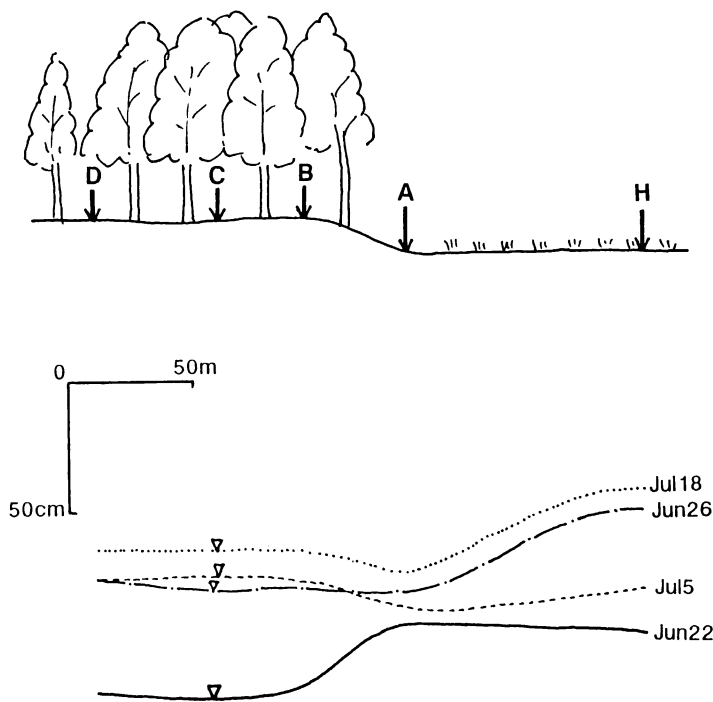
2) 地下水位

5ヶ所の観測地点における地下水位の測定は1989年3月1日から1990年3月31日の間行われた。いずれの地点も降雨に対応して地下水位の上昇及びその後の低下が観測されたが、地下水位通減時には牧草地(観測圃場H地点)の地下水位が松林の地下水位(B, C, D地点)より低くなる時があるものの、年間を通してみると、松林内の地下水位は牧草地の地下水位よりも低いことが観測された。

第2図は1989年6月22日から7月18日にかけて、手測により行った地下水位の測定結果を、鉛直断面として表したものである。地下水位は牧草地である観測圃場で高く、アカマツ林で低い。松林の林床標高は牧草地の標高とあまりかわらず、むしろ松林の方が若干高い。また地質的にも両地域に違いはほとんどなく、粘土層の上限深度も松林の方がむしろ若干浅い。以上のことから、地形や地質によらず地表面の植生の違いに基づく蒸発散量の違いによる地下水流動が存在することが推定される。

3) 地温分布

地中温度の連続測定は、牧草地のH地点と松林のC地点で行われた。H地点の地温は水理実験センターがルーチンで観測を行っている連続データ(1989年4月1日—1990年3月31日)を用いたが、C地点の地温は、1989年6月1日から1990年3月31日まで



第2図 牧草地およびアカマツ林での地下水位

の観測値を用いた。両地点における深度50cmと100cmの地温の年間変動幅(最大日平均地温と最低日平均地温との差)は、牧草地の50cm深が 19.5°C 、100cm深が 17.5°C 、アカマツ林の50cm深が 19.0°C 、100cm深が 10.0°C であった。また各深度の年平均地温(H地点では日平均地温の年平均、C地点では最大日平均地温と最低日平均地温との平均)は、牧草地の50cm地温が 16.0°C 、100cm地温が 14.5°C 、アカマツ林の50cm地温が 12.0°C 、100cm地温が 14.0°C であった。

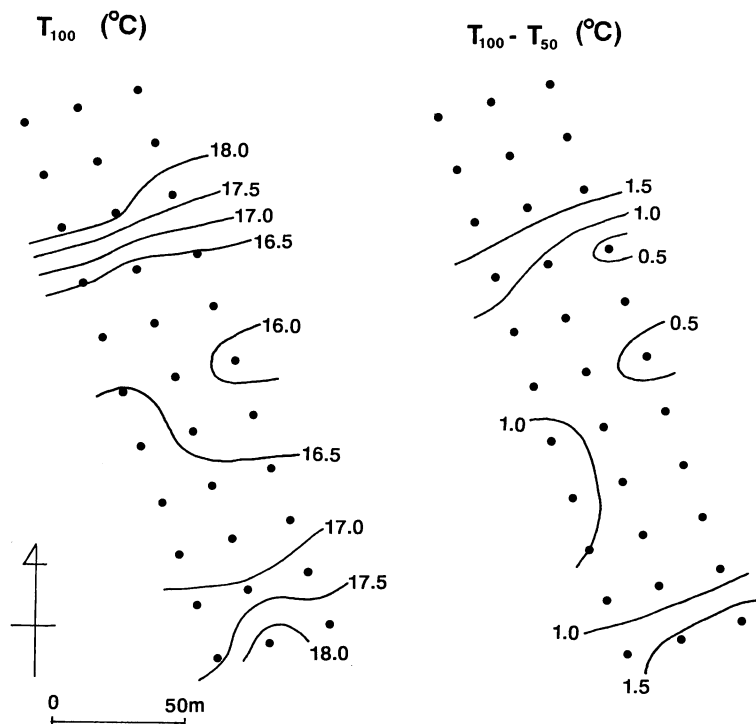
観測結果から、地温変動幅の深さ方向への減衰率は、牧草地の方がアカマツ林より小さい。熱移流を考慮した定常熱輸送解析によると、下向きフラックスが大きいほど地中温度の変動幅の減衰率は小さくなる。従って、牧草地で地温変動幅の減衰率がアカマツ林に比べて小さいことは、牧草地の年間地下水涵養量が松林のそれより大きいことと対応する。また年平均地温の温度勾配は、牧草地で下向きに負で

あるのに対し、松林では下向きに正となっている。つまり、年間を通してみると、牧草地は熱エネルギーの涵養域になっているのに対し、松林は熱エネルギーの大気への流出域になっていることがわかる。

上記の地温連続測定の外に、第1図に示したa, b, cの測線に沿って約20m間隔で、深度50cmと100cmの地温の測定を1989年11月6日に行った。第3図はその時の深度100cmにおける地温の等値線と、深度100cmの地温と深度50cmの地温の差の等値線を示している。11月の時点では、深度1mの地温に夏の日射量の差の影響が残っており、牧草地の地温の方が松林の地温より高い。また深度100cmと50cmの地温の差は牧草地の方がアカマツ林より大きい。

V おわりに

森林伐採による砂漠化現象の解明など地球規模での環境問題において、様々な植生下での蒸発散量・地下水涵養量を明らかにし、植生改変による水・物



第3図 1m 深地温および1m 深地温と50cm 深地温との差の等温線 (1989年11月6日)

質循環の変化を明らかにすることは非常に重要である。本研究では、自然林（松林）と森林伐採15年後の牧草地を選定して地下水涵養量、地温を測定し、両地域の水循環・熱循環を明らかにすることを目的に観測を行った。

両地域の水収支およびクロライド収支から推定される牧草地の年間地下水涵養量は松林の1.23倍から1.37倍となり、両者の違いは蒸発散量の違いに起因すると考えられる。両地域の地表面標高・地質構造に違いが無いことから地形や地質によらず、植生の違いに基づく蒸発散量の違いによる地下水流動の存在が推定される。また地温の振幅の深さ方向への減衰率は牧草地で小さく松林で大きい。これは地下水涵養量が牧草地で多く、松林で少ないことと対応する。また年平均地温勾配は松林で下向きに正、牧草地で下向きに負となり、松林が熱エネルギーの大気

への流出域、牧草地が涵養域になっていることを示している。

謝 辞

本研究を進めるに当たり、榎根 勇水理実験センター長、嶋田 純講師をはじめとする筑波大学水理実験センターの方々にお大変お世話になった。また観測には筑波大学大学院地球科学研究科の板寺一洋・辻村真貴の両君および環境科学研究科の鈴木克律君をはじめとする大学院生および自然学類の学生諸氏にお手伝い頂いた。以上の方々に対し、記して感謝致します。

なお本研究の一部は、平成元年度文部省科学研究費奨励研究(B)課題番号01916005および平成元年度筑波大学学内プロジェクト奨励研究の助成を受けて行われた。記して謝意を表します。

文 献

- 倉橋佳伸(1990)：ひと雨中における化学成分の時間変化について．筑波大学自然科学類卒業論文，56p. (未発表)．
- 杉田倫明・山下孔二・古藤田一雄 (1986)：アカマツの形態構造．筑波大学水理実験センター報告，**10**，47—52．
- 谷口真人・Sharma, M. L.・Craig, A. B. (1989 a)：オーストラリア・パースにおける異なる植生下での地下水涵養量の比較研究．筑波大学水理実験センター報告，**13**，71—76．
- 谷口真人・川村隆一・嶋田 純 (1989 b)：熱収支・水収支観測資料(3)—水収支編—1981年8月—1987年12月．筑波大学水理実験センター報告，第**13**号別冊，80p．
- 出口賢二・田瀬則雄 (1983)：平地アカマツ林における蒸散活動と土壤水の挙動について．筑波大学水理実験センター報告，**7**，39—45．
- 間島政紀・田瀬則雄 (1982)：アカマツ林内の降雨量の空間分布について．筑波大学水理実験センター報告，**6**，75—82．
- Sharma, M. L. and Craig, A. B. (1987)：Comparative recharge rates beneath banksia woodland and two pine plantations on the Gngara Mound, Western Australia. Sharma, M. L. ed. : *Ground-water Recharge*, Balkema, 171—184.
- Sharma, M. L., Taniguchi, M., Barron, R. J. W., Craig, A. B., Raper, G. P., Fernie, M. and Byrne, J. (1989)：Investigations of natural groundwater recharge in the unconfined aquifers of the Coastal Plain. Project Report, CSIRO Division of Water Resources, Wembley, W. A., 104p.
- Sugita, M. (1985)：Factors affecting evapotranspiration from pine forest. *Geograph. Review Japan (Ser. B)* , **58**, 102—131.