

ヒトの活動環境としての森林環境の多角的評価

—森林の空間構造・温熱環境とヒトの心身反応の関係—

1995年

岩手大学大学院
連合農学研究科
生物環境科学専攻
(岩手大学)

大石 康彦

①

ヒトの活動環境としての森林環境の多角的評価
— 森林の空間構造・温熱環境とヒトの心身反応の関係 —

1995

岩手大学大学院
連合農学研究科
生物環境科学専攻
(岩手大学)

大石康彦

目 次

I. 結論	1
1. 研究の目的	1
2. 研究小史	8
II. 試験林・試験区	15
III. 温熱環境	22
1. 方法	22
2. 結果	27
2. 1. 気温	27
2. 2. 相対湿度	29
2. 3. 全天日射量	33
2. 4. 風速	33
2. 5. OXFORD INDEX	36
2. 6. SOL AIR TEMPERATURE	38
2. 7. WINDCHILL INDEX	38
3. 考察	41
IV. 心理反応	46
1. 方法	46
2. 結果	50
2. 1. 個別グループ	52
2. 2. 全グループ	58
3. 考察	63
V. 生理反応	70
1. 方法	70
2. 結果	80
3. 考察	95

VI. 森林環境とヒトの心身反応の関係	98
1. 方法	98
2. 結果	99
2. 1. 個別要素	99
2. 2. 各要素相互の関係	102
2. 2. 1. 森林構造と温熱環境	105
2. 2. 2. 森林構造と心理反応	106
2. 2. 3. 森林構造と生理反応	108
2. 2. 4. 温熱環境と心理反応	109
2. 2. 5. 温熱環境と生理反応	111
2. 2. 6. 心理反応と生理反応	112
3. 考察	114
VII. 総合考察	121
VIII. 総括及び結論	124
1. 総括	124
2. 結論	125
2. 1. 温熱環境	125
2. 2. 心理反応	126
2. 3. 生理反応	127
2. 4. 森林環境とヒトの心身反応の関係	128
IX. 摘要	130
X. 謝辞	133
引用及び参考文献	136

I. 緒論

1. 研究の目的

森林は、森林環境下におけるヒトに対して、温熱、光、音等の物理的刺激、揮発性物質等の化学的刺激など多岐にわたる環境刺激を与えることが知られている。植田(72)は、森林内では気象緩和、空気清浄、快適環境の創造によって五感がすべて刺激され、精神的ストレスによる歪みを取り除かれ、心身機能が整えられるとしている。

森林は林産物生産の他、災害防止、水資源かん養、生活環境保全・形成など多くの効果を発揮するとされるが、森林環境下におけるヒトの心身にプラスの影響を及ぼす効果は、森林の保健休養効果として位置づけられる。

日本では、古くから社寺の拝礼・巡礼や山間地への湯治などの形で森林に接する行為が何気なく行われてきており、人々はそのような行為によって、森林の保健休養効果を享受してきたと考えられる。

また、近年においては、1980年代に提唱された森林浴が定着しつつあるなど社会的関心が高まっており、森林の保健休養効果の利活用を図る動きは、自治体等森林を提供する側、都市住民など森林を利用する側ともにかつてない活況を呈している。

ヒトが森林に入り活動するとき、森林環境はヒトの活動環境として位置づけられる。そのような関係は、ヒトと森林の間の様々な関

係のうち最も直接的な関係といえる。

森林の保健休養効果の発現には、森林構造に外的な気象条件等の自然現象が加わって森林環境が形成され、森林環境がもたらす種々の環境刺激が、皮膚、目、耳、鼻等の五感の受容器を通じてヒトの心理反応、生理反応に影響を及ぼす一連の関係があるものと考えられる（図-1）。

したがって、森林の保健休養効果について客観的に明らかにするためには、森林構造、森林環境の環境要素、ヒトの心理反応、生理反応の各要素について同時にとらえ、それらを相互に関連づけて検討することが必要である。

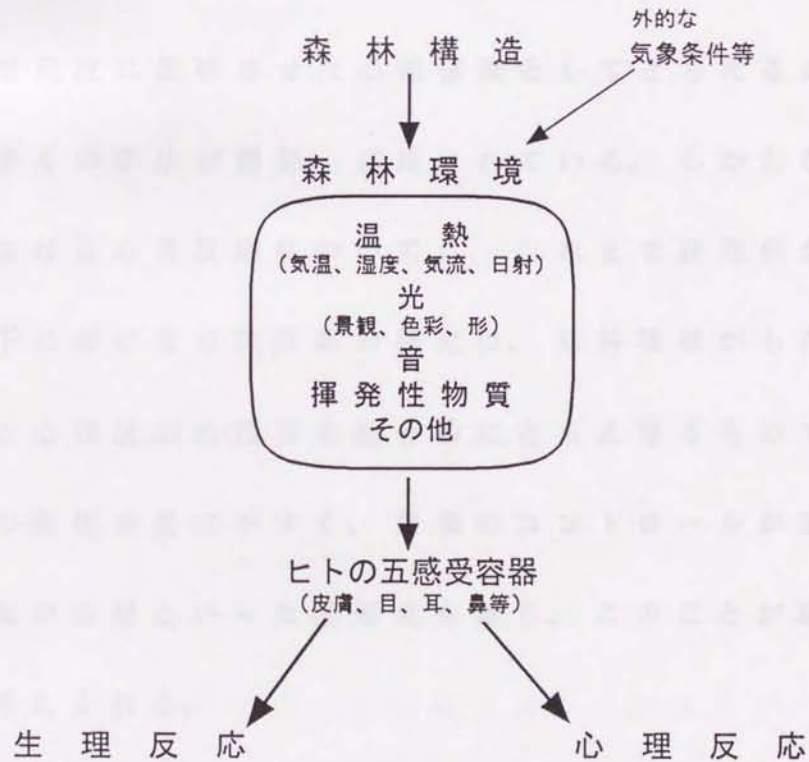


図-1 森林がヒトの心身に及ぼす保健休養効果の概念

森林の保健休養効果に関わる環境要素、あるいは心理反応、生理反応の個別の要素については、後記のように各分野において基礎的な研究が進められているものの、森林構造、環境要素、心理反応、生理反応の相互関係についての総合的な研究は行われておらず、森林の保健休養効果に関する客観的評価は、これまで十分には行われていない。

森林の環境要素については、温熱環境などの環境要素単独に関する基礎的研究が関係分野で進められているが、ヒトの活動環境の視点からの研究は十分に進んでおらず、環境要素の測定・評価に用いるべき具体的な指標の検討が必要な段階にあると考えられる。

また、環境刺激に対するヒトの心理反応は主観的なものであるため、客観的な尺度に反映させた心理構造としてとらえる必要があり、そのための多くの手法が開発、応用されている。しかしながら、森林環境下における心理反応については、これまで研究例が少ない。

森林環境下における心理反応の研究は、森林環境がもたらす多様な環境刺激と心理反応の関係を総合的にとらえ得るものであるが、一方で天候の影響を受けやすく、環境のコントロールが困難、被験者の多数動員が困難といった問題点もあり、このことが研究例が少ない一因と考えられる。

さらに、ヒトの心理反応は、環境刺激に対して直接的に反応する

ものではなく、五感の受容器（目、耳、鼻、口、皮膚）が受けた刺激が心理反応に結びつく過程には、個人に帰属する経験や能力といった複雑な要因が関与し、このことが環境刺激と心理反応の関連づけを難しくしていると考えられる。

青木(1)は人間のもつ複雑な情報処理機構として、刺激の変化に追従して処理できる受容器の能力、記憶という刺激を選択的に記憶し残す能力、受容器自身の感度を調節する能力をあげ、これらの存在によって心理反応が複雑なものになっていると指摘している。

環境刺激に対するヒトの生理反応については、自律神経系の反応を中心に関係分野で研究が進められ、実験室レベルでは一定の成果が得られている。

ヒトの生理反応においては、遺伝や経験等個人に帰属する要因による影響を排除することは出来ない。しかし生理反応は心理反応に比べ、環境刺激に対してより直接的な反応であると考えられ、環境の評価を行うために適当な指標と考えられる。

しかしながら、森林環境下における生理反応についてはこれまで研究例が少ない。

森林環境下における生理反応の研究は、森林環境がもたらす多様な環境刺激と生理反応の関係を総合的にとらえ得るものであるが、一方で天候の影響を受けやすく環境のコントロールが困難、被験者

の多数動員が困難といった問題点の他、生理反応の計測機器には屋外使用が困難なものが多いことなどの問題点もあり、これらのことが研究例が少ない一因と考えられる。

このように、森林環境下における心理反応、生理反応に関する研究についても適用すべき手法の検討や、具体的なノウハウの蓄積が必要な段階にあると考えられる。

さらに、森林の保健休養効果に関わる森林構造、森林環境の環境要素、ヒトの心理反応及び生理反応の総合的検討を行った例はこれまでにみられない。

その背景には、森林環境の環境要素が温熱、光、音、揮発性物質等と多岐にわたり、それらの環境要素とヒトの心理反応、生理反応が複雑に関係しているために、上記の各要素における問題点が重なって関わることとなり、これらを同時に把握・評価することが難しいことなどがあるものと考えられる。

また、従来の研究においては、単木や小規模な樹木群を対象とした例が多く、大規模な森林を対象とした例でも、森林構造が明らかにされていない場合が多い。

ヒトの活動環境としての森林を利用面からみると、幅広い活動形態と四季を通じての利用が想定され、そこにはある程度の面積の広がり、四季を通じての快適な環境の確保が求められる。

また、保健休養効果を目的とする森林の整備・提供の側面からは、里山等の既存の人工林が対象となる場合が多いことから、単木や小樹群レベルではなく、施業単位としてのまとまった面積の森林について検討する必要がある。

しかしながら、従来の研究は、このような社会情勢に照らして必要な成果をあげるには至っていない。

このような状況に対して、本研究においては、地域における通常の施業が行われてきた壮齢の針葉樹人工林を試験林として位置づけ、伐採等の処理を加えた試験区を設置して研究対象とし、あわせて対照区として草地を研究対象とした。

本研究ではこれらのことによって、コントロールされた森林構造下における環境要素の継続観測や、心理実験、生理実験の繰り返し実施を可能とし、さらに草地との比較を可能にするなど、従来の研究にはみられない体制を実現したものである。

本研究はこのような研究体制によって、森林と草地、構造の異なる森林相互の間で環境要素、心理反応、生理反応のそれぞれについて、代表的な要素の特徴を明らかにし、さらに同一箇所、同一時点、同一被験者における森林構造、環境要素、心理反応、生理反応の一連の関係について検討を行い、ヒトの活動環境としての森林環境の多角的評価を行うことを主たる目的としたものである。

以下に、本研究において研究対象とした環境要素、心理反応、生理反応の代表的な要素について要約する。

環境要素については、環境要素の最も基礎的な要素であり、ヒトの心身反応との関係についてもある程度の知見が得られている温熱環境をとりあげた。

温熱環境の要素としては、ヒトの心身反応に影響があるとされる気温・湿度・日射・風速(42)(74)の各単独気象要素と、気温と他の要素を組み合わせた OXFORD INDEX・SOL AIR TEMPERATURE・WINDCHILL INDEX の3種の温熱指標をとりあげた。

心理反応の要素としては、森林に関わる研究への応用例が比較的多いSD法 (SEMANTIC DIFFERENTIAL METHOD) によって抽出される心理構造をとりあげた。

生理反応の要素としては、ヒトの体感に最も直接的な関係があると考えられ、森林環境の評価への応用例もみられる脳波 (α 波) をとりあげた。

脳波については、 α 波 (8~14 Hz) が脳波の最も基本的な構成要素であり、覚醒、安静状態にあるときに連続して出現することから大脳を休めていることの指標とされ(26)(54)、一方で、光刺激、触刺激などの外界からの知覚刺激や、精神内面における活動によって起こる α 波の減衰(43)(54)が知られている。

このことから、 α 波を環境刺激に対するヒトの生理反応の検討対象として適当な要素と考えたものである。

2. 研究小史

森林の保健休養効果については、古くから経験的に認識されてきていると考えられる。また、近年においては、環境や健康への関心の高まりを背景に、森林浴が一般化するなど森林の保健休養効果に対する社会的関心が高まっている。

このような社会情勢を背景に、近年では森林の保健休養効果に係する研究もみられる。

森林の保健休養効果に関わる研究の現状を明らかにするため、森林環境をヒトの活動環境としてとらえる場合の環境要素に関する研究、ヒトの心理反応に関する研究、ヒトの生理反応に関する研究及びこれらを複数组み合わせた研究について、以下に要約する。

森林環境をヒトの活動環境として位置づけ、評価する場合、検討対象となる環境要素には温熱、光、音、揮発性物質等多くの要素があげられる。

環境要素の中で最も基礎的な要素のひとつと考えられる温熱環境に関わる研究には、気温とヒトの快適感の関係(2)(7)(8)(9)(37)(42)(51)、湿度とヒトの快適感の関係(58)(74)、風速とヒトの快適

感の関係(6)(30)などの個別の温熱環境要素に関する研究や、ヒトの感覚を推測するための温熱指標に関する研究(11)(12)(13)(18)(21)(50)(64)など室内環境を対象とした研究が多くみられる。

これらの研究によって、室内における温熱環境のヒトの活動環境としての評価は、ある程度可能になっている。

一方、森林等における温熱環境を対象とした研究には、森林内外の気温の比較(76)、立木密度と気温の関係(53)、開空度と気温の関係(60)、緑被率と気温の関係(73)、森林内外の気温、湿度、日射量、風速の比較(56)、立木密度と熱環境特性の関係に関する研究(14)などがあり、森林の気象緩和作用等が明らかにされている。

しかしながら、これらの研究はいずれもヒトの活動環境の視点からの研究ではなく、ヒトの活動環境としての森林環境の評価には結びついていない。

ヒトの活動環境の視点から森林等における温熱環境を対象とした研究には、公園における気温とヒトの行動の関係(44)(45)、樹冠下における日射軽減と皮膚面伝熱量の関係に関する研究(46)などがある。

また、森林等における温熱環境に温熱指標を適用した研究には、公園の植栽構成と不快指数の関係(34)、樹冠下と開放地の不快指数の比較(29)、樹冠下と開放地の SOL AIR TEMPERATURE の比較などの研究

(75)がある。

これらの研究によって、樹冠下の日射軽減効果などが明らかにされているが、いずれも単木あるいは小規模な樹木群を対象とした研究である。

この他、森林における光（景観）環境については、森林の景観施業に関する研究(70)など、景観に関する研究が多くみられるが、近年には、植物の色彩をデータ化する試み(66)など光環境の細部に関する研究もみられる。

森林における音環境については、林木の騒音防止効果に関する研究(4)など騒音防止に関する研究が多くみられるが、近年には、植物園への音の導入を前提とした現況音解析に関する研究(63)など、音環境の積極的評価を目的とする研究もみられる。

また、森林における揮発性物質環境については、森林大気中のテルペン類濃度分布に関する研究(80)などがみられ、フィトンチッドとして一般に知られている。

このように、森林の環境諸要素について様々な角度からの研究がみられるが、いずれもヒトの活動環境としての評価には至っていない。

環境刺激に対するヒトの心理反応については、心理学をはじめ様々な分野において研究がなされてきており、心理反応を心理構造と

して客観的にとらえる手法は、心理学分野等において多数開発され、多くの分野で応用されている。

森林環境に対する心理反応についても、一対比較法を用いた森林に対する意識調査(27)、AHP法を用いた森林の評価(23)、SBTD (SCENIC BEAUTY TEMPORAL DISTRIBUTIONS) METHODによる森林の景観評価(5)、SBE (SCENIC BEAUTY ESTIMATION)による森林の景観評価に関する研究(32)などがみられる。

また、本研究で用いたSD法 (SEMANTIC DIFFERENTIAL METHOD) は Osgoodら(55)により開発された心理測定法の一つで、印象・イメージなどの測定に適するとされている。

SD法は色彩などの心理効果や、商品のイメージ調査などに広く応用され、また、建築、都市工学などの分野においては、空間体験の結果生じる心理反応に関する研究などに応用されている(19)(40)(52)(57)(69)。

近年では、森林環境に対する心理反応に関する研究にもSD法の応用例がみられ、写真を用いた森林景観の評価に関する研究が多くみられる(3)(17)(24)(36)(67)。

しかし、写真を用いた心理実験の場合、被験者に与えられる環境刺激が視覚に限定されることから、温熱、音など光以外の環境刺激に対する心理反応を検討するには不適當である。また、視覚におい

ても空間の広がり、ボリュームなどについては、十分な環境刺激が与えられているとはいえない。

一方、現実の森林環境にSD法を適用した例は少なく、大規模公園緑地内の樹林に対する心理反応(33)、ヒノキ複層林に対する心理反応に関する研究(20)などに限られている。

環境刺激に対するヒトの生理反応については、自律神経系、内分泌系、脳波などの反応についての研究がみられる。

自律神経系の反応については、香料の香りと指先皮膚温・瞳孔反射の関係(25)、樹木精油の香りと心電図R-R間隔・血圧の関係(38)、気温と皮膚温の関係(9)(10)(15)、気温と心拍数、気流と平均皮膚温・心拍数の関係(71)、気温と平均皮膚温、気温と心拍数の関係に関する研究(16)など室内における研究が多くみられる。

内分泌系の反応については、温泉療法と血中ノルアドレナリン・コーチゾルの変化に関する研究(65)などがみられる。

脳波の反応については、音と α 波の関係(22)(49)、色布を見せたときの色と α 波、 β 波、 θ 波の関係(35)、鉢植植物等をみせたときの α 波の比較に関する研究(41)などがみられる。

これらの研究は全て室内実験によるものであり、環境条件が一定している中で、色彩や音といった環境刺激を与え、比較的安定した結果を得ている。

一方、森林環境における環境刺激に対する自律神経系の反応について検討した例としては、緑地等における心拍数回復率等の比較に関する研究(28)、室内と森林における酸素摂取量、心拍数増加率、心拍数回復率の比較(78)(79)、人工気候室と森林における血流量、条件反射結合率の比較(39)などがみられる。

また、森林環境に対する脳波の反応について検討した例は、多田ら(68)による構成樹種の異なる森林における脳波の比較に関する研究以外にみられない。

ただし、この研究例では測定地点を大きく移動しておらず、環境条件の異なる森林相互、あるいは森林内と森林外における脳波を比較検討した例はこれまでにみられない。

以上は、環境要素及びヒトの心理反応、生理反応それぞれの単独要素に関する研究、及びそれらの要素について、森林と森林外、人工林と天然林といった異なる環境における比較を行った研究である。

次に、3以上の要素を組み合わせた研究について要約する。

温熱環境とヒトの心理反応及び生理反応の関係に関する研究は建築分野に比較的多くの例がみられる(9)(15)(16)(30)(71)が、これらはいずれも室内環境についての研究例である。

一方、森林に関する研究としては、芝生と樹林地における気温及び温冷感・快適感等の比較(45)、樹冠下内外の気温・相対湿度・日

射量・風速及び皮膚温の比較(46)や、森林と人工気候室における指先血流量等及び快適感等の比較(39)、構成の異なる森林における脳波と好ましき等の比較に関する研究(68)などがみられる。

このように、従来の研究においては、森林における環境諸要素に関する研究が個別要素ごとに行われ、一方で、環境刺激に対するヒトの心身反応に関する研究も行われている。

しかしながら、環境刺激と心身反応の関係に関する研究は、室内における温熱環境と心理反応、生理反応の関係等に限られており、森林環境における環境要素と心理反応、生理反応を同時に検討した研究例はこれまでにみられない。



II. 試験林・試験区

森林内と対照区としての草地の比較を行うため、試験林と草地に観測地・実験地を設けた(図-2)。

試験林は、岩手山南麓の小岩井農牧株式会社小岩井農場内、標高約600mの南向き緩傾斜地に位置する面積約55haのカラマツ(*Larix leptolepis*)、アカマツ(*Pinus densiflora*)人工林である。

同林分は1954~55年に列状混植され、1992年の試験林の設定時点まで通常の利用材林施業が行われ、試験林設定時点にはシラカンバ



図-2 試験林・草地の位置

(*Betula platyphylla*)、ウダイカンバ (*Betula maximowicziana*)、ミズナラ (*Quercus crispula*) など自然発生した広葉樹が一部に混生していた。

試験林内には、立木密度等の異なる森林相互の比較検討を行うための4試験区を設けた。試験区は面積3haの矩形(100m×300m)とし、伐採等の処理により各試験区の立木密度、広葉樹混交率等を変えた。また、各試験区の中央には心理実験・生理実験に用いる直線状の歩道(幅2m×延長250m)を作設した(図-3)。

試験区の概要を(表-1)に示す(以下、各試験区をA~D区と呼ぶ)。

試験区の処理は伐採による立木密度の処理を主体とし、アカマツ、カラマツからなる主林木については、A区は本数伐採率50%、B区は同45%、C区は同33%の処理を行い、D区は無処理とした。

広葉樹からなる中下層木については、A区は一部樹幹の通直な中層木を除き伐採し、B区、C区は主林木の伐採・搬出の支障木など一部を伐採し、D区は無処理とした。

さらに、A区においては歩道沿いの下層植生の刈払いや林床の枝条除去もあわせて行った。以上の処理により各試験区の諸元は立木密度、平均樹高、平均胸高直径ともに試験区間の較差が顕著となった。

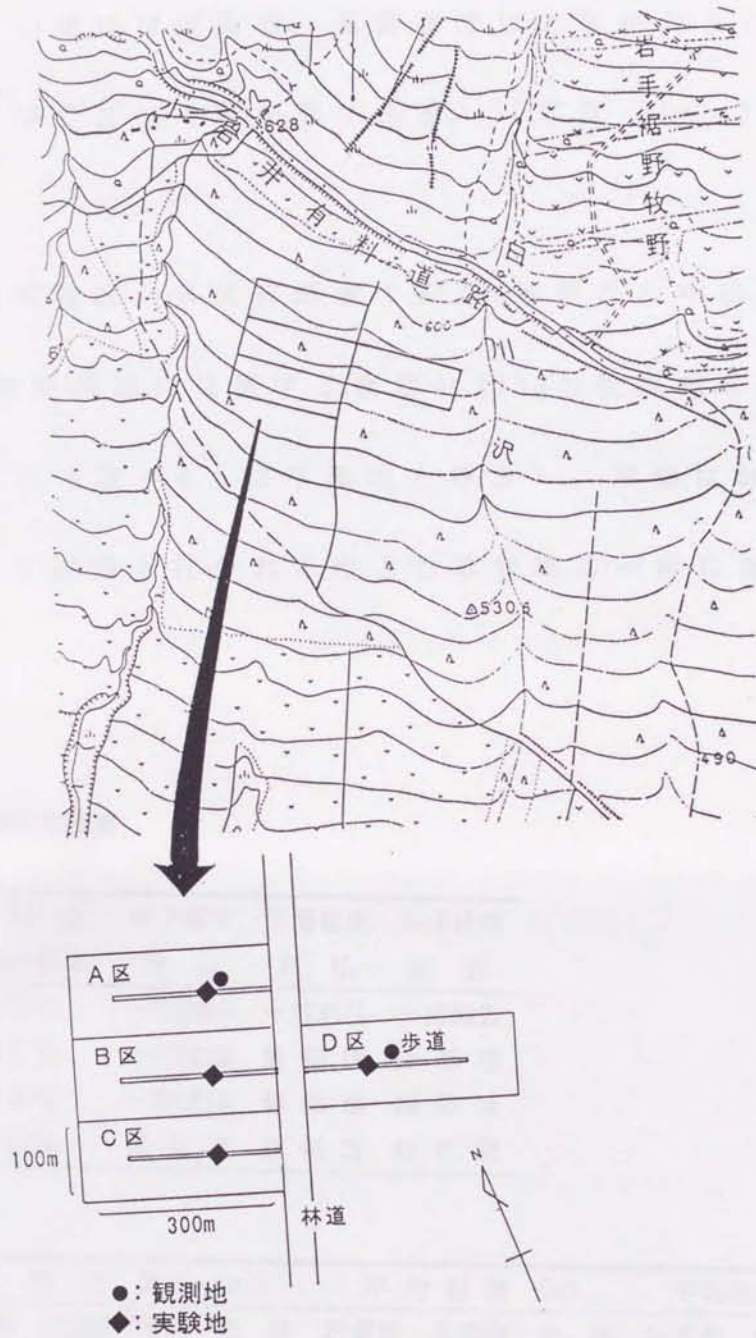


図-3 試験林・試験区の位置および試験区における観測地・実験地の位置

すなわち、立木密度、広葉樹混交率（本数）はともにA区<C区<B区<D区である。平均樹高、平均胸高直径は、針葉樹ではD区がやや小さい他はほぼ同様、広葉樹ではA区が大きく、D区が小さく、B区及びC区はその中間である。（写真-1~4）に試験区の林相を示す。

対照区は試験区から直線距離で約7.5km離れた小岩井農場内の、標高約300mの平坦地に位置する面積約21haの牧草地に設け、観測地・実験地とした（図-4：以下草地と呼ぶ）。草地においては、春から秋にかけて採草が行われるなど牧草栽培の一般的管理がなされている。

表-1 試験区の概要

<処理>

試験区	主林木 本数伐採率	中下層木 伐採	下層植生 刈払	林床枝条 除去
A	50%	一部残存	一部刈払	一部除去
B	45%	一部伐採	無処理	無処理
C	33%	一部伐採	無処理	無処理
D	0%	無処理	無処理	無処理

<諸元>

試験区	立木密度 (n/ha)		平均樹高 (m)			平均胸高直径 (cm)			
	針葉樹	広葉樹 (%)	全体	針葉樹	広葉樹	全体	針葉樹	広葉樹	全体
A	275	88 (24)	363	17.4	13.4	16.4	24.2	17.6	22.6
B	225	975 (81)	1200	17.8	5.1	7.5	24.6	6.4	9.8
C	400	713 (64)	1113	18.0	5.2	9.8	23.3	5.2	11.7
D	575	4175 (87)	4750	15.7	4.0	5.4	20.8	3.1	5.2

（注）プロット(0.08ha)調査による根本直径1cm以上の樹木すべての数値である。



写真-1 試験区の林相 (A区)



写真-2 試験区の林相 (B区)



写真 - 3 試験区の林相 (C区)



写真 - 4 試験区の林相 (D区)

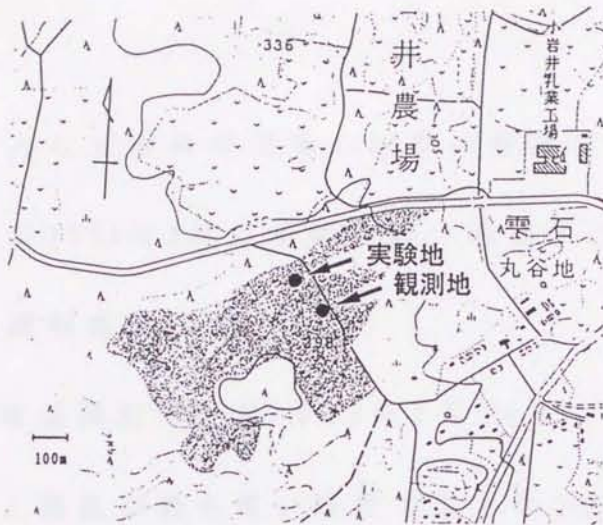


図-4 草地の位置および草地における観測地・実験地の位置

Ⅲ. 温熱環境

1. 方法

ヒトの活動環境としての森林環境の四季の特徴を明らかにするため、1992年10月から1994年8月の期間中の、春夏秋冬の各季7日間ずつを温熱環境の観測期間とした。

春季としては新葉展開期である1993年5月14日～20日、夏季としては濃緑期であり、気温が最も高い時期であった1994年8月11日～17日、秋季としては一部が紅葉した時期の1992年10月5日～11日、冬季としては落葉・積雪期であり、気温が最も低い時期であった1993年1月21日～27日を対象とした。なお、各観測期間の天気はほとんど晴天または曇天であった(表-2)。

観測した気象要素は気温、相対湿度、風速、全天日射量であり、各観測地に設置した観測機器(表-3)により観測した。

表-2 気象要素の観測期間と天気概況

季節	期 間	天 気 概 況			
		晴天	曇天	雨天	雪日
春季	1993年 5月14日～20日	2	4	1	0
夏季	1994年 8月11日～17日	1	6	0	0
秋季	1992年10月 5日～11日	4	2	1	0
冬季	1993年 1月21日～27日	3	3	0	1

天気概況は盛岡地方気象台による

観測機器は森林内と草地の比較、立木密度の異なる森林の比較を行うため、A区とD区の2試験区の観測地（前掲図-3）と草地の観測地（前掲図-4）に設置した（写真-5）。なお、A区とD区の観測地は直線距離で約250m、試験林と草地は約7.5km離れている。試験区及び草地の概要は前記（II章）のとおりである。

観測機器は、ヒトの活動環境の視点から、森林内における通常のヒトの活動域を考慮し、地上高1.5mに設置した。ただし、風速計については、他の観測機器による影響を避けるため、地上高2.0mに設置した。積雪期には各観測機器を雪面から約1.5m（風速計以外）ないし約2.0m（風速計）の高さに調整して観測した。

気温と相対湿度は毎正時の瞬間値、風速は積算による60分平均値、全天日射量は5分間隔の瞬間値による60分平均値を観測し、自動記録装置に記録した。

表-3 気象要素の観測機器

気 象 要 素	機 器
気 温	測温抵抗センサ（ロロ MP100TST）
相 対 湿 度	静電容量センサ（ロロ MP100TST）
風 速	三杯式風速計（横河計測 A-702）
全 天 日 射 量	シリコンフォトダイオード日射計（自製）

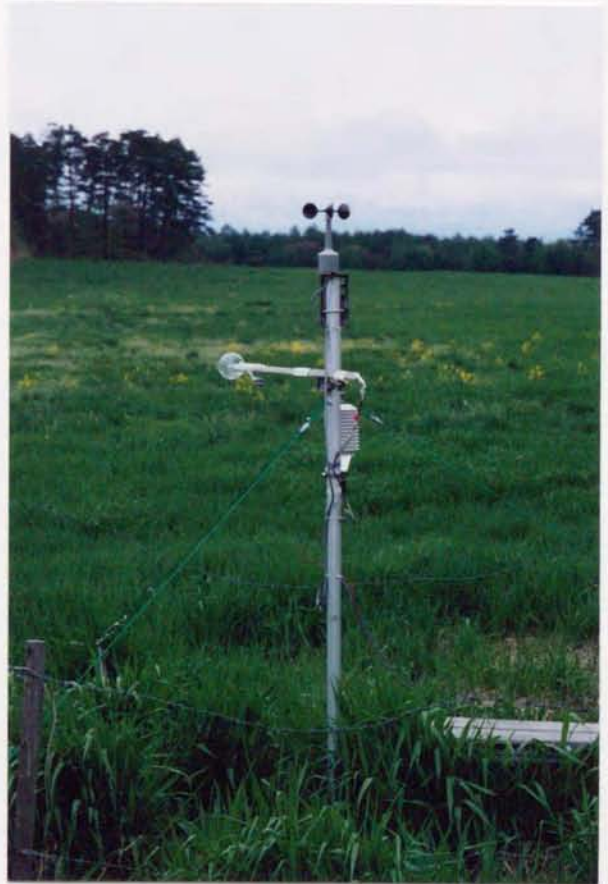
シリコンフォトダイオード日射計はネオ日射計で検定



A 区



D 区



草地

写真 - 5 観測機器

得られた各観測値については、ヒトの活動環境の視点から日中の観測値を検討対象とすることとし、草地で全天日射のある時刻の観測値を抽出し、分析に供した。

分析は気温、相対湿度、全天日射量、風速の各気象要素と、それらを組み合わせて算出した温熱指標である OXFORD INDEX(61)、SOL AIR TEMPERATURE(59)、WINDCHILL INDEX(61)を対象に、試験区相互及び試験区と草地の間で相関関係、各期間中の最高値 - 最低値の較差及び期間中の平均値等について行った。

研究の対象とした温熱指標について以下に要約する。

○ OXFORD INDEX: 1964年に LIND and LEITHEAD(31)により提案された気温と湿度を構成要素とする指標で、下式による WD であらわされる。

WD は値が高いほど高温高湿環境にあることを示し、高温環境下で持続し得る作業時間と相関が高いなどとされ(48)、主に高温暑熱環境の評価に用いられる(61)。

$$WD = 0.85Twb + 0.15Ta$$

WD : OXFORD INDEX (°C)

Twb : 湿球温度 (°C)

Ta : 気温 (°C)

なお、Twb は気温と相対湿度の観測値から湿り空気線図を用いて求めた。

○ SOL AIR TEMPERATURE: 1942年に WRIGHT により提案された気温と日射量を主な構成要素とする指標で、下式による SAT であらわされる。

SAT は値が高いほど輻射熱の多い暑熱環境下にあることを示し、外壁などの熱授受における修正気温として用いられる(59)が、一方で、ヒトの活動環境の視点からの樹冠の日射軽減効果への適用例もみられる(75)。

$$SAT = Ta + Rso (\epsilon_{sun} \cdot J_{sun} + \epsilon J_{nit})$$

SAT : SOL AIR TEMPERATURE (°C)

Ta : 気温 (°C)

Rso : 総合表面熱伝達抵抗

ϵ_{sun} : 日射の吸収率

ϵ : 常温吸収率

J_{sun} : 日射量 (kcal/m²·h)

J_{nit} : 夜間輻射量 (kcal/m²·h)

なお、Rso は期間中の風速レベルに相当(59)する

$$Rso = 0.1$$

ϵ_{sun} 、 ϵ 、及び J_{nit} は斎藤(59)、山田ら(75)の例に従い

$$\epsilon_{sun} = 0.9$$

$$\epsilon = 0.9$$

$$J_{nit} = -50 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$$

として算入した。

また、 $1\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} = 4,187\text{J (ジュール)}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ である。

○ WINDCHILL INDEX: SIPLE and PASSEL(62)により提案された気温と風速を構成要素とする指標で K_c であらわされる。

K_c は風冷力とも呼ばれ、値が高いほど寒冷環境にあることを示し、寒冷環境の評価に用いられる(6)。

$$K_c = (\sqrt{100V} - V + 10.5) \times (33 - T_a)$$

K_c : WINDCHILL INDEX ($\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)

V : 風速 (m/sec)

T_a : 気温 ($^{\circ}\text{C}$)

なお、 $1\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h} = 4,187\text{J (ジュール)}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ である。

また、草地の標高が試験区より約300m低いいため、当該地域(盛岡-岩手山)の年平均気温減率 $0.62^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ (81)を適用し、草地の気温を 1.86°C ($0.62^{\circ}\text{C} \times 3$)減じて分析に供した。

2. 結果

2. 1. 気温

試験区と草地の気温の相関関係(図-5)をみると、春季・秋季に草地が 10°C 程度以上の時は試験区と草地はほぼ同レベルにあり、 10°C 程度以下では試験区が草地より高い傾向がある。また、冬季に

は試験区が草地よりおおむね高く、草地が低温になるほどその傾向が強い。一方、夏季には試験区が草地よりおおむね低く、草地が高温になるほどその傾向が強い。

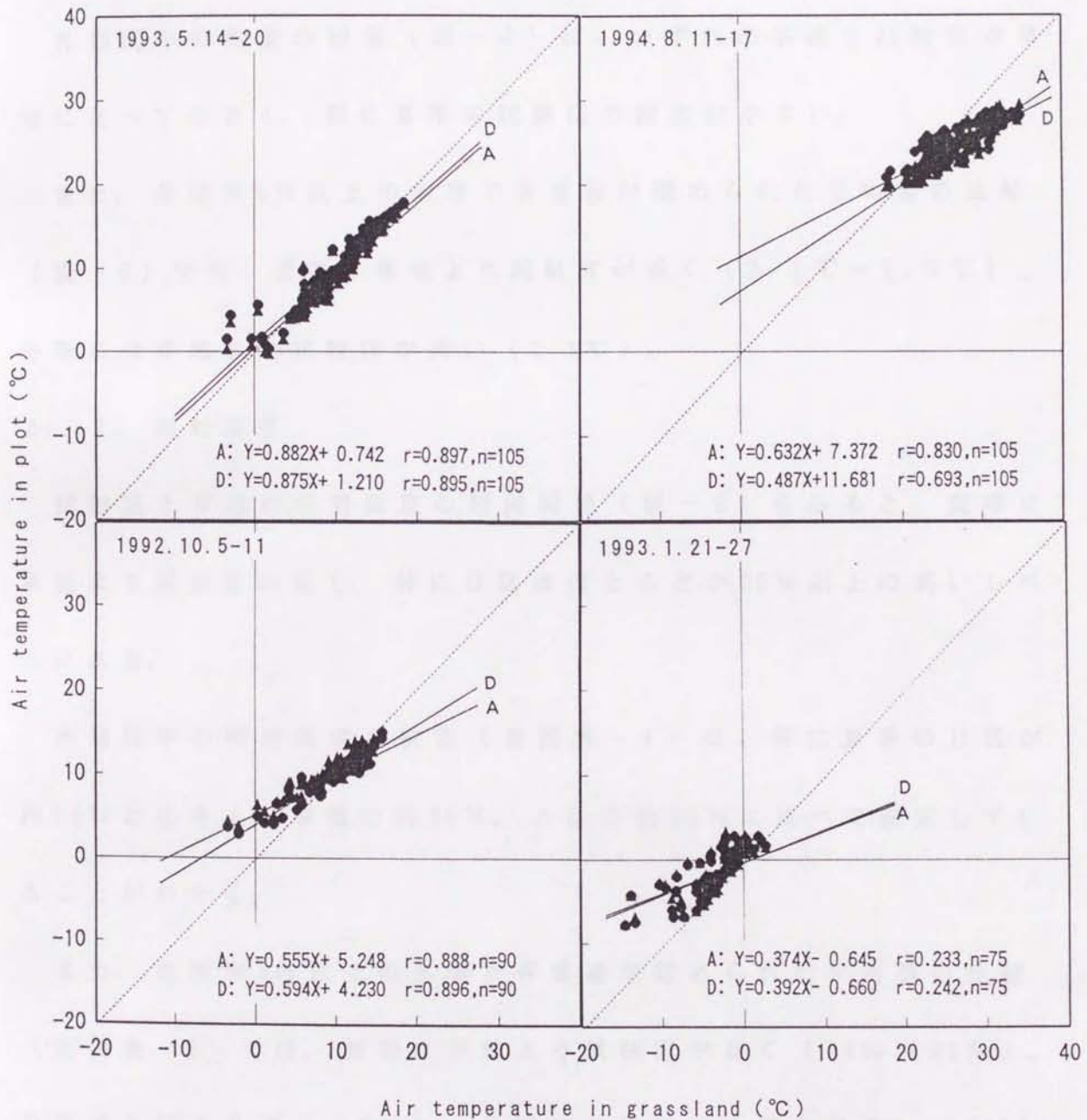


図-5 試験区と草地の気温の相関関係

▲はA区と草地の、●はD区と草地の相関を表す

数式はそれぞれA：A区と草地、D：D区と草地の回帰式

四季を通じてみると、 $10^{\circ}\text{C} \sim 20^{\circ}\text{C}$ の温度域では試験区と草地は同レベルにあり、これより高温域では試験区が草地より低く、低温域では試験区が草地より高い傾向がある。一方、A区とD区の間にはいずれの季節にも大きな差はない。

各期間中の気温の較差（表-4）は、いずれの季節も試験区が草地に比べて小さく、特に夏季の試験区の較差は小さい。

また、危険率5%以上の水準で有意差が認められた平均値の比較（表-5）では、夏季に草地より試験区が低く（ $2.1^{\circ}\text{C} \sim 2.5^{\circ}\text{C}$ ）、冬季には草地より試験区が高い（ 2.1°C ）。

2. 2. 相対湿度

試験区と草地の相対湿度の相関関係（図-6）をみると、夏季に草地より試験区が高く、特にD区はほとんどが90%以上の高いレベルにある。

各期間中の相対湿度の較差（前掲表-4）は、特に夏季のD区が約14%と小さく、草地の約56%、A区の約32%に比べて安定していることがわかる。

また、危険率5%以上の水準で有意差が認められた平均値の比較（前掲表-5）では、夏季に草地より試験区が高く（24%～31%）、D区はA区より高く（7%）、秋季にもD区はA区より高い（5%）。

表一4 各期間における気象要素、温熱指標の平均値・最小値・最大値・較差

気 温 (°C)	相 对 湿 度 (%)	全 天 日 射 量 (MJ/m ² ·h)	風 速 (m/sec)	Oxford index (°C)	Sol Air Temperature (°C)	Windchill index (kcal/m ² ·h)
1. 春季 (1993年5月14日~20日)						
A区 9.5	-0.2/17.7 73.2	0.94	0.85	7.3	22.3	413.9
	17.9	4.06	2.35	-0.8/11.6 12.4	-4.1/82.5 86.6	211.9/613.6 401.7
D区 9.9	0.3/17.8 75.3	0.44	0.33	7.9	13.6	344.7
	17.5	1.47	1.10	0.3/12.0 11.3	-3.5/38.4 41.9	173.3/498.4 325.1
草地 9.9	-3.4/18.3 76.7	1.38	1.41	7.9	29.0	449.2
	21.7	4.19	4.80	-3.4/12.2 15.6	-8.1/84.6 92.7	239.8/651.5 411.7
2. 夏季 (1994年8月11日~17日)						
A区 24.3	19.7/29.5 91.3	0.52	0.02	23.4	29.4	99.1
	9.8	2.57	0.13	19.5/26.4 6.9	15.2/70.5 55.3	40.2/152.8 112.6
D区 24.7	20.8/28.5 98.4	0.10	0.00	24.6	20.6	87.7
	7.7	0.49	0.01	20.8/28.5 7.7	22.1/32.8 10.7	47.2/128.1 80.9
草地 26.8	18.1/34.9 67.7	1.22	0.20	22.5	44.9	85.1
	16.8	3.36	0.75	18.1/26.2 8.1	13.8/87.2 73.4	-26.0/170.7 196.7
3. 秋季 (1992年10月5日~11日)						
A区 10.8	3.8/15.1 81.0	0.49	0.41	9.5	15.4	344.2
	11.3	2.27	2.00	3.5/12.7 9.2	-0.4/49.3 49.7	238.4/455.6 217.2
D区 10.2	2.9/15.0 86.1	0.11	0.07	9.2	7.7	273.0
	12.1	0.64	0.50	2.9/12.6 9.7	-1.6/20.7 22.3	196.4/356.9 160.5
草地 10.0	-3.4/15.8 80.1	1.10	1.30	8.4	24.1	435.0
	19.2	3.25	5.25	-3.4/12.3 15.7	-9.1/67.4 76.5	253.7/585.8 332.1
4. 冬季 (1993年1月21日~27日)						
A区 -1.2	-7.7/3.3 81.7	0.50	0.63	-2.0	3.6	566.1
	11.0	1.68	2.35	-7.9/2.2 10.1	-12.0/29.5 41.5	331.8/906.8 575.0
D区 -1.2	-7.9/2.8 82.3	0.26	0.17	-2.1	-1.0	482.7
	10.7	0.97	0.70	-8.3/1.7 10.0	-12.3/13.2 25.5	390.1/653.7 263.6
草地 -3.3	-14.6/2.7 80.8	0.75	0.75	-4.4	3.9	625.5
	17.3	2.44	3.35	-14.6/0.4 15.0	-20.5/39.2 59.7	360.8/920.4 559.6

(注) 各欄の数値は、平均値 最小値/最大値、なお 1 kcal=4187 J (ジュール)

表-5 気象要素、温熱指標平均値の試験区、草地相互の有意差

気温	相対湿度						全天日射量						風速					
1993. 5. 14-20																		
	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地
A区	-	-	-	A区	-	-	A区	-	-	A区	**	**	A区	-	-	A区	**	**
D区				D区			D区			D区		**	D区			D区		**
草地				草地			草地			草地		**	草地			草地		**
1994. 8. 11-17																		
	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地
A区	-	**	**	A区	**	**	A区	**	**	A区	**	**	A区	-	**	A区	-	**
D区		**	**	D区		**	D区		**	D区		**	D区		**	D区		**
草地				草地			草地			草地			草地			草地		
1992. 10. 5-11																		
	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地
A区	-	-	-	A区	**	-	A区	**	**	A区	**	**	A区	**	**	A区	**	**
D区				D区		**	D区		**	D区		**	D区		**	D区		**
草地				草地			草地			草地			草地			草地		
1993. 1. 21-27																		
	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地
A区	-	**	**	A区	-	-	A区	-	-	A区	**	**	A区	**	**	A区	**	-
D区		**	**	D区		-	D区		-	D区	**	**	D区	**	**	D区	**	**
草地				草地			草地			草地			草地			草地		**

OXFORD INDEX	SOL AIR TEMPERATURE						WINDCHILL INDEX											
1993. 5. 14-20																		
	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地
A区	-	-	-	A区	**	**	A区	**	**	A区	**	**	A区	**	**	A区	**	**
D区				D区		**	D区		**	D区		**	D区		**	D区		**
草地				草地			草地			草地			草地			草地		
1994. 8. 11-17																		
	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地
A区	**	**	**	A区	**	**	A区	**	**	A区	-	**	A区	-	**	A区	-	**
D区		**	**	D区		**	D区		**	D区		-	D区		-	D区		-
草地				草地			草地			草地			草地			草地		
1992. 10. 5-11																		
	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地
A区	-	*	*	A区	**	**	A区	**	**	A区	**	**	A区	**	**	A区	**	**
D区				D区		**	D区		**	D区		**	D区		**	D区		**
草地				草地			草地			草地			草地			草地		
1993. 1. 21-27																		
	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地	A区	D区	草地
A区	-	**	**	A区	**	-	A区	**	-	A区	**	**	A区	**	**	A区	**	**
D区		**	**	D区		**	D区		**	D区	**	**	D区	**	**	D区	**	**
草地				草地			草地			草地			草地			草地		**

** : 有意水準 1%、* : 有意水準 5%、- : 有意差なしを表す

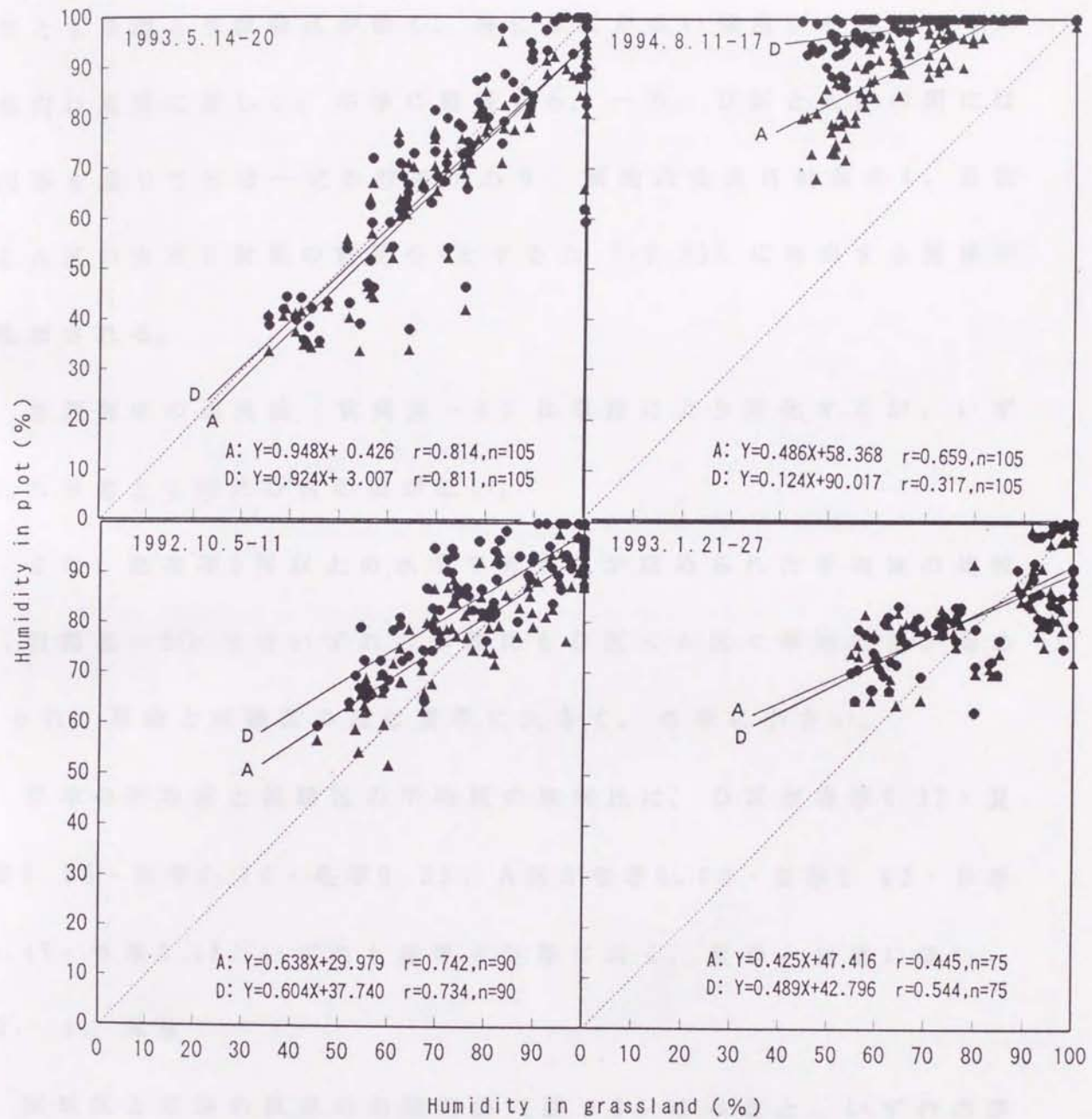


図-6 試験区と草地の相対湿度の相関関係

▲はA区と草地の、●はD区と草地の相関を表す

数式はそれぞれA：A区と草地、D：D区と草地の回帰式

2. 3. 全天日射量

試験区と草地の全天日射量の相関関係（図-7）をみると、各季節とも草地より試験区が低く、特にD区が低い傾向があるが、その傾向は夏季に著しく、冬季に軽減する。一方、D区とA区の間には四季を通じてほぼ一定の較差があり、草地の全天日射量をX、D区とA区の全天日射量の較差をYとすると $Y=0.35X$ に相当する関係が推測される。

各期間中の最高値（前掲表-4）は季節により変化するが、いずれの季節とも特にD区の値が低い。

また、危険率5%以上の水準で有意差が認められた平均値の比較（前掲表-5）ではいずれの季節にもD区 < A区 < 草地の差が認められ、草地と試験区の差は夏季に大きく、冬季に小さい。

草地の平均値と試験区の平均値の対比は、D区が春季0.32・夏季0.08・秋季0.10・冬季0.35、A区が春季0.68・夏季0.42・秋季0.45・冬季0.68といずれも春季と冬季に高く、夏季と秋季に低い。

2. 4. 風速

試験区と草地の風速の相関関係（図-8）をみると、いずれの季節にも試験区が草地より低いが、冬季には草地に近いレベルにある。

また、試験区相互では、いずれの季節にもA区よりD区が低い傾向がみられる。ただし夏季は全体のレベルが低いため、傾向は明らか

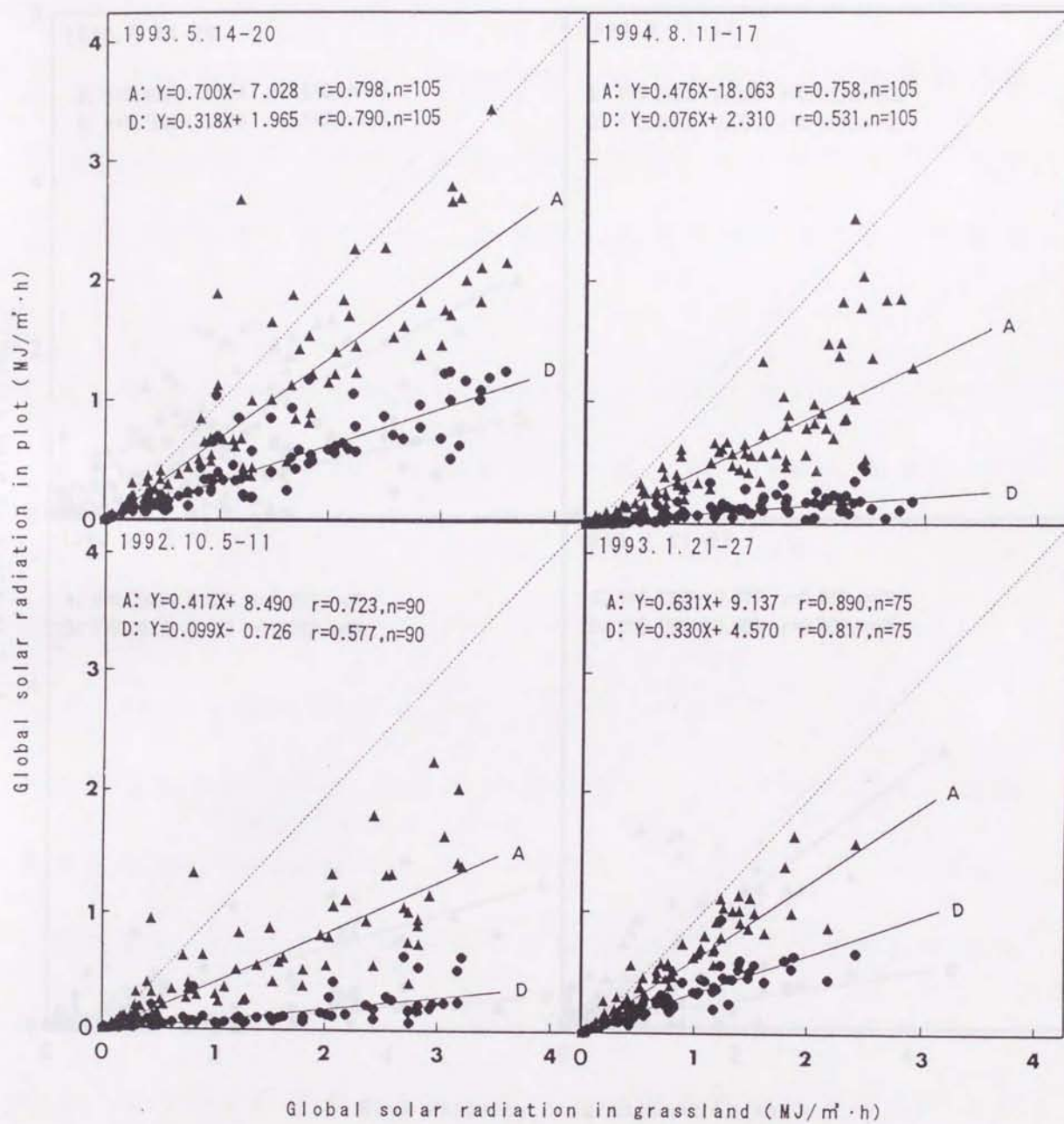


図-7 試験区と草地の全天日射量の相関関係

▲はA区と草地の、●はD区と草地の相関を表す

数式はそれぞれA：A区と草地、D：D区と草地の回帰式

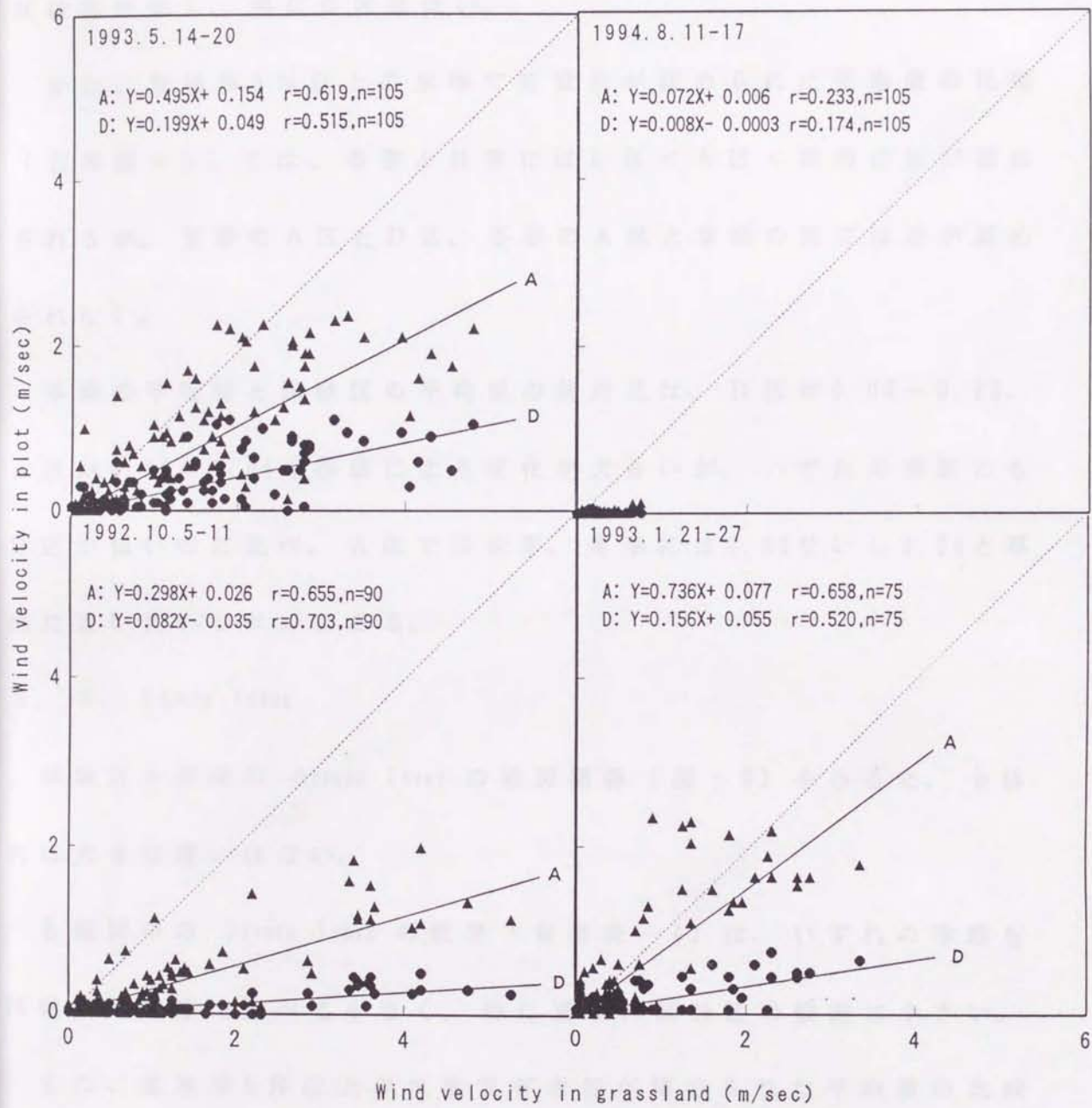


図-8 試験区と草地の風速の相関関係
 ▲はA区と草地の、●はD区と草地の相関を表す
 数式はそれぞれA：A区と草地、D：D区と草地の回帰式

かでない。

各期間中の最高値（前掲表-4）は、いずれの季節にも草地より試験区が低く、特にD区は低い。

また、危険率5%以上の水準で有意差が認められた平均値の比較（前掲表-5）では、春季と秋季にはD区 < A区 < 草地の差が認められるが、夏季のA区とD区、冬季のA区と草地の間には差が認められない。

草地の平均値と試験区の平均値の相対比は、D区が0.00~0.23、A区が0.10~0.84で季節による変化が大きい。いずれの季節にもD区が低いのに比べ、A区では秋季、冬季には0.82ないし0.84と草地に近い高いレベルにある。

2. 5. OXFORD INDEX

試験区と草地の OXFORD INDEX の相関関係（図-9）をみると、全体的に大きな違いはない。

各期間中の OXFORD INDEX の較差（前掲表-4）は、いずれの季節も試験区が草地に比べて小さく、特に夏季に試験区の較差は小さい。

また、危険率5%以上の水準で有意差が認められた平均値の比較（前掲表-5）では、冬季に草地より試験区が高く（2.3℃~2.4℃）、夏季にも草地より試験区が高い（0.9℃~2.1℃）。試験区相互では夏季にD区がA区より高い（1.2℃）。

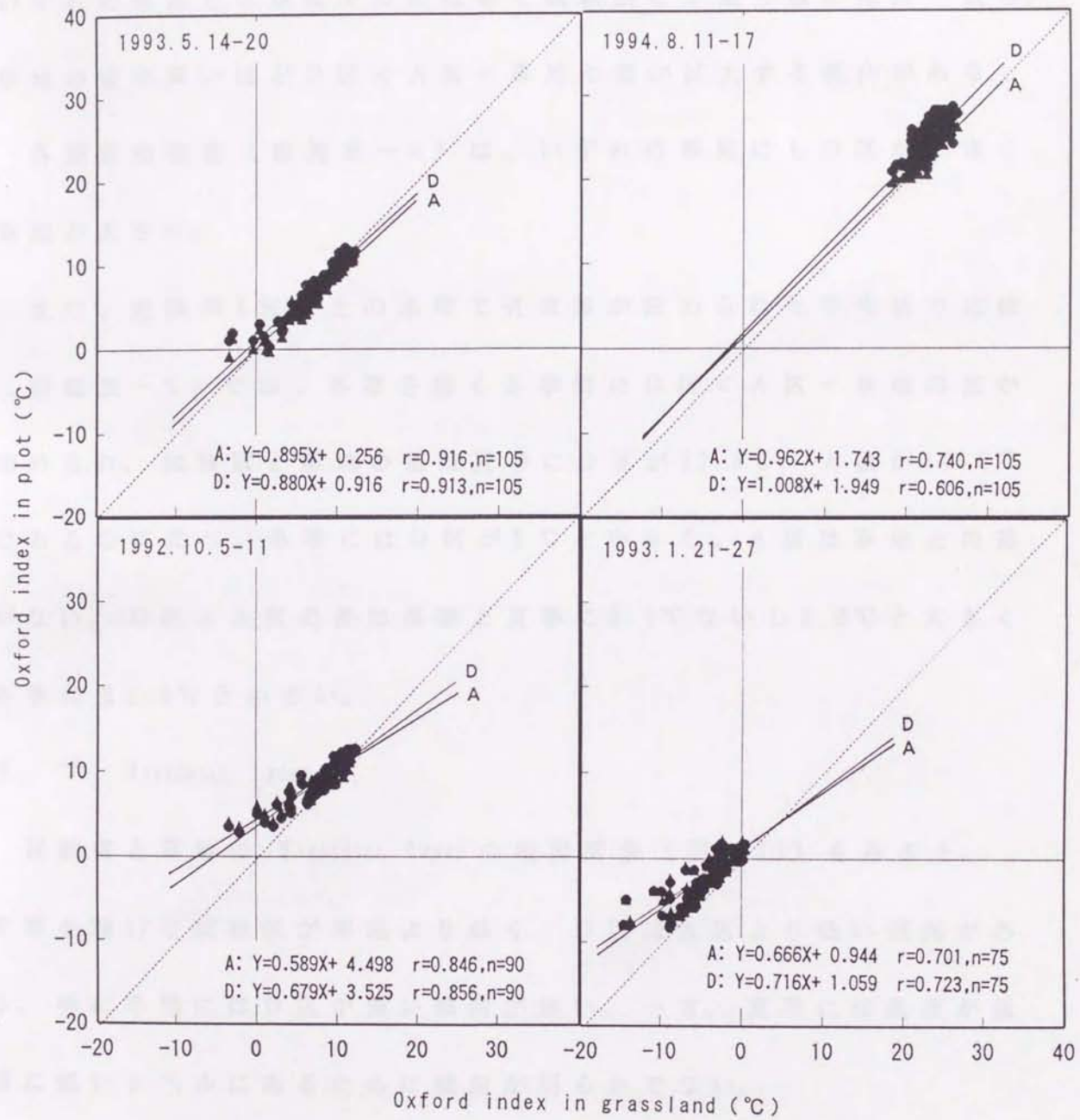


図-9 試験区と草地の OXFORD INDEX の相関関係
 ▲はA区と草地の、●はD区と草地の相関を表す
 数式はそれぞれA：A区と草地、D：D区と草地の回帰式

2. 6. SOL AIR TEMPERATURE

試験区と草地の SOL AIR TEMPERATURE の相関関係（図 - 10）をみると、いずれの季節とも期間中の最低域で試験区と草地の値がほぼ一致し、草地の値が高いほど D 区 < A 区 < 草地の差が拡大する傾向がある。

各期間の較差（前掲表 - 4）は、いずれの季節にも D 区が小さく草地が大きい。

また、危険率 5% 以上の水準で有意差が認められた平均値の比較（前掲表 - 5）では、冬季を除く各季節に D 区 < A 区 < 草地の差が認められ、試験区と草地の差は夏季に D 区が 22.8℃、A 区が 15.5℃であるのに比べ、冬季には D 区が 5℃と小さく、A 区は草地との差がない。D 区と A 区の差は春季と夏季に 8.7℃ないし 8.8℃と大きく冬季には 4.6℃と小さい。

2. 7. WINDCHILL INDEX

試験区と草地の WINDCHILL INDEX の相関関係（図 - 11）をみると、夏季を除いて試験区が草地より低く、D 区は A 区より低い傾向がある。特に冬季には D 区が低い傾向が強い。一方、夏季には風速が極端に低いレベルにあるために傾向が明らかでない。

各期間の較差（前掲表 - 4）は、草地より試験区が小さく、特に D 区の較差は小さい。季節別では夏季の較差が小さく、冬季の較差は大きい。

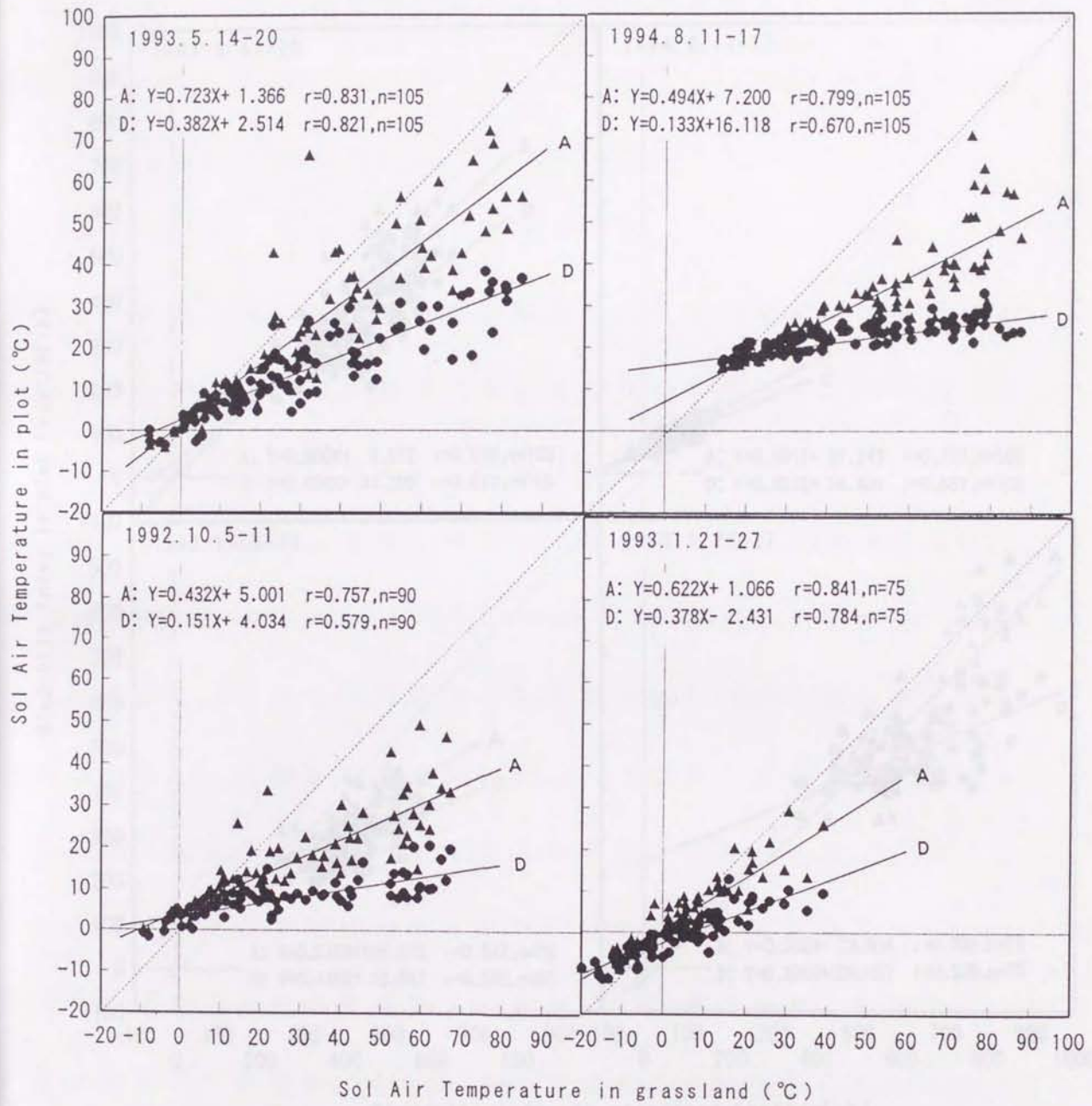


図-10 試験区と草地の SOL AIR TEMPERATURE の相関関係
 ▲はA区と草地の、●はD区と草地の相関を表す
 数式はそれぞれA：A区と草地、D：D区と草地の回帰式

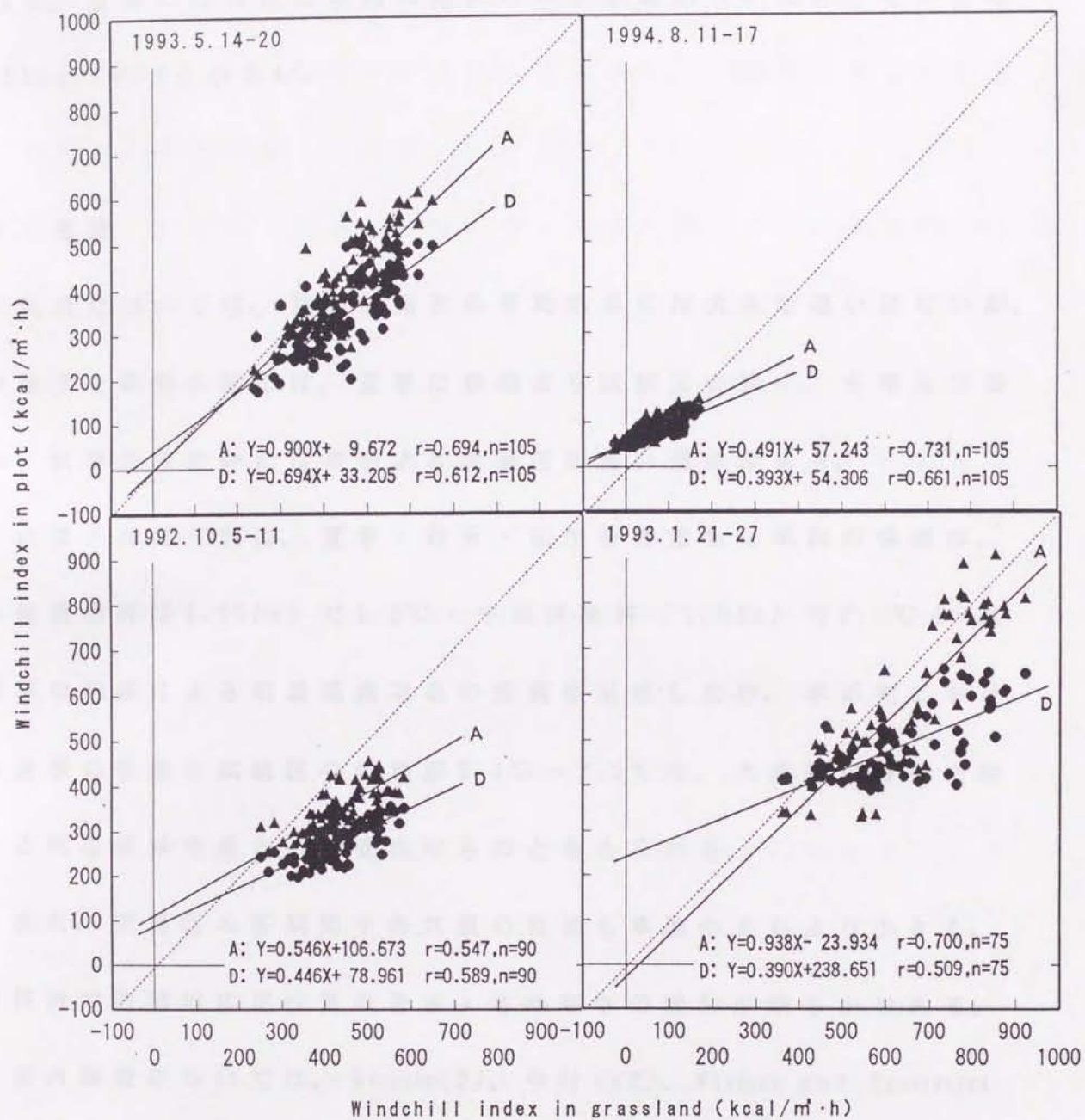


図-11 試験区と草地の WINDCHILL INDEX の相関関係

▲はA区と草地の、●はD区と草地の相関を表す

数式はそれぞれA：A区と草地、D：D区と草地の回帰式

また、危険率5%以上の水準で有意差が認められた平均値の比較（前掲表-5）では、夏季を除いてD区<A区<草地の差が認められた。夏季にはA区と草地の間にのみ差が認められたが、その差は $15\text{kcal}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ と小さい。

3. 考察

気温については、試験区相互の平均気温には大きな違いはないが、試験区と草地の間では、夏季に草地より試験区が低く、冬季及び春季・秋季の低温時には草地より試験区が高い傾向がある。

山田・丸田(76)は、夏季・晴天・正午を想定した気温の低減は、小規模樹林(0.05ha)で 1.5°C ・中規模樹林(1.5ha)で 2.1°C とし、森林の規模による気温低減効果の差異を示唆したが、本研究における夏季の草地と試験区の気温差 $2.1^{\circ}\text{C}\sim 2.5^{\circ}\text{C}$ は、大規模な森林における気温低減効果として妥当なものと考えられる。

また、試験区の各期間中の気温の較差も草地のそれより小さく、森林内では草地に比べ夏の暑さ・冬の寒さの緩和が明らかである。

室内環境については、BEDFORD(2)、中村(42)、WINSLOW and HERRINGTON(74)などにより、おおむね $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ が快適な温度域とされているが、森林環境を含む屋外環境では、環境要素として日射が加わり、また、ヒトの活動も室内より活発であることが想定され、快適な温度域は

室内より低温側へ移行すると推察される。

したがって、草地の気温が20℃以上の温度域において森林内の気温がより低く、草地の気温が10℃以下の温度域において森林内の気温がより高いことは、森林内が草地に比べてヒトの活動環境としてより好適な条件と考えられる。

また、立木密度と気温の関係については、岡上(53)、斎藤(60)により立木密度の違いにともなう最低気温、最高気温のわずかな上下が指摘されており、本研究も同様の結果といえる。

相対湿度については、夏季に草地より試験区が高く、特にD区が高いことが特徴であるが、この期間中には降雨がほとんど無かったために草地の値が低く、一方で、試験区の値は樹冠層の作用と後記の風速の低さにより高く保たれたものと考えられる。

森林内外の相対湿度の差については、近藤ら(29)により単木の樹冠下と樹冠外で最大3%、丸田(34)により公園緑地の植栽内外で最大14%の差が指摘されている。

本研究における夏季の試験区と草地の相対湿度の差は30%に達しているが、面的な広がり大きい森林に降雨や風速の条件が重なり、大きな値を示したものと考えられる。

また、立木密度の違いと相対湿度の関係については、夏季及び秋季にA区がD区より平均値で5%~7%低く、立木密度の違いによる

影響があらわれたものと考えられる。

全天日射量については、年間を通じてD区 < A区 < 草地の差が明らかである。草地の平均値と試験区の平均値の相対比は、D区が0.08~0.35、A区が0.42~0.68の範囲にあり、太田ら(56)による着葉期0.1以下、積雪期約0.5の指摘に近い結果といえる。

全天日射量の平均値の相対比が夏季・秋季に低く、春季・冬季に高いのは、夏季は葉が十分に展開した時期、秋季は落葉が開始していない時期であること、春季は新葉が十分に展開しない時期、冬季は完全に落葉した時期であることから、葉の展開状態に関連した現象と考えられる。

また、D区とA区の間四季を通じた全天日射量の一定の較差の存在は、立木密度の違いによるものと考えられ、森林構造の違いと日射環境の間に定量的な関係の存在を示唆するものである。

立木密度と全天日射量に定量的な関係がみられたことは、ヒトの活動環境としての森林内の明るさの定量的な調整の可能性を示すものと考えられる。

風速については、春季と秋季には試験区相互、試験区と草地の差が明らかである。一方、冬季にはA区と草地の差がなく、完全な落葉状態においてA区的环境が草地に近くなっているものと考えられる。

出口(6)、久保ら(30)が風速と快適感の関係を示したように、暑熱時には風速が高いほど快適感にプラス、寒冷時には風速が高いほどマイナスに作用するものと考えられ、冬季にD区の風速が低いことはプラスに、A区が草地に近い高いレベルにあることはマイナスに作用するものと考えられる。

OXFORD INDEX については、全体的に試験区相互、試験区と草地の差が明確でないが、夏季にやや高いことは、より暑熱な環境にあることを示し、ヒトの活動環境としてのマイナス要素になり得ると考えられ、草地より試験区が、A区よりD区がやや不利な環境にあるといえる。

OXFORD INDEX の構成要素である相対湿度については、立木密度の違いにともなう差がみられることから、伐採等の立木密度処理による OXFORD INDEX 調整の可能性が示唆される。

一方、冬季に OXFORD INDEX が高いことは寒冷環境が緩和され、草地より試験区がやや有利な環境にあると考えられる。

SOL AIR TEMPERATURE については、冬季を除いてD区 < A区 < 草地の差が明確であり、試験区と草地の平均値の差が夏季に大きいことから、暑熱時の森林による緩和作用が明らかである。

山田・丸田(75)は小規模な樹林の内外の比較で快晴時に約30℃の SOL AIR TEMPERATURE の差を指摘しており、本研究は同等の結果といえ

る。さらにD区とA区の差も明らかで、立木密度の高い森林の SOL AIR TEMPERATURE 緩和効果が大きいといえる。

また、寒冷時にはD区の SOL AIR TEMPERATURE が草地より低いもののその差はわずかであり、A区では草地と差がないことから寒冷時の試験区の環境は草地に比べ特に不利な環境ではないと考えられる。

WINDCHILL INDEX については、夏季を除いてD区 < A区 < 草地の差が明らかである。春季、冬季にはA区はD区より草地に近い環境にある。

また、冬季のA区及び草地の最高値は $900\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ をこえており、WINDCHILL INDEX の評価区分(61)では「非常に寒い」に属する。同期間のD区の最高値は $680\text{kcal}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ であり、2ランク下の「非常にすずしい」区分である。

このことから冬季にA区は草地と変わらない厳しい環境であるの
に比べ、D区では緩和された環境といえる。また、夏季には風速の
レベルが極端に低いため傾向が不明確であり、低風速時の WINDCHILL
INDEX 適用には限界があることがわかった。