

平成7年度森林総合研究所

研究成果発表会講演要旨集

「緑と水とアメニティー」

日 時 : 平成7年10月4日(水) 13:30~17:00

会 場 : 三会堂ビル9階 「石垣記念ホール」

農林水産省林野庁

森 林 総 合 研 究 所

目 次

開会挨拶 所 長 小林 一三

1. 森をつくる野生動物たち

多摩森林科学園 森林生物研究室 林 典子 ----- 1

2. タケが森林を駆逐する？

関西支所 育林部 土壌研究室 鳥居 厚志 ----- 7

3. スギ花粉の量はどのように決まる

多摩森林科学園 樹木研究室長 横山 敏孝 ----- 13

4. 水条件が決める沙漠の植生

森林環境部 植物生態科 群落生態研究室長 斉藤 昌宏 ----- 17

5. 木造住宅は地震に弱いのか

—阪神・淡路大震災の調査結果から—

木材利用部 構造利用科 構造性能研究室長 神谷 文夫 ----- 23

閉会挨拶 次 長 大貫 仁人

司 会 企画調整部長 井上 敏雄

(1 課題 講演 25 分 質疑 5 分)

森をつくる野生動物たち

多摩森林科学園 森林生物研究室 林 典子

はじめに

ネズミやリスなどが、餌である植物の種子を貯えておいて、餌のないときにそれを回収して食べる行動を“貯食行動”という。貯食した種子は、ときには利用されることがなく残り発芽する。種子を様々なところに埋めて貯えるネズミやリスの貯食習性は、植物にとっては種子を運搬し、分散させる機会をもたらしてくれるものとして、重要であると考えられる。しかし、従来の研究では、動物が実際にどんな所に種子を貯食し、どの程度食べ残すのか不明であった。ここでは、ニホンリスがその餌であるオニグルミの種子を貯食する行動を新しい手法で調べ、貯食する場所や食べ残す割合を明らかにした。

発信機を取り付けたオニグルミ

ニホンリスに運搬され、貯食されたオニグルミの位置をつきとめるために、小型の無線発信機を種子に取り付ける方法を試みた。発信機はこれまでしばしば、動物の行動調査に使われてきた。予測不可能な動物の移動を、装着した発信機の電波を受信することによって特定することができる。この方法を動物によって運搬された種子の位置を知るために適用することにした。

はじめに、発信機を取り付けることで、ニホンリスが種子を避けることがないかどうか調べた。何もついていない普通のオニグルミ（タイプⅠ）に対して、発信機を外に接着したオニグルミ（タイプⅡ）や、発信機を中に埋め込んだオニグルミ（タイプⅢ）が選択されにくいかどうかを、野外の給餌台で比較した（図1）。3タイプの間で有意な選択性はみられず、いずれも同時にリスによって持ち去られた。このため、以下の実験ではタイプⅡを用いた。

オニグルミ林の木の根元に給餌台を設置し、タイプⅡのクルミを毎回10個ずつセットした（図2）。リスによって持ち去られたら、受信機で位置を探し、食べられているか、貯食されているかを確認した。貯食された場合はその後も位置の変化、食べられているかどうかを4～5日ごとに調べた。ここでは、1992年9月から12月に2か所の給餌台で、合計104個のクルミを用いて実験した結果を述べる。

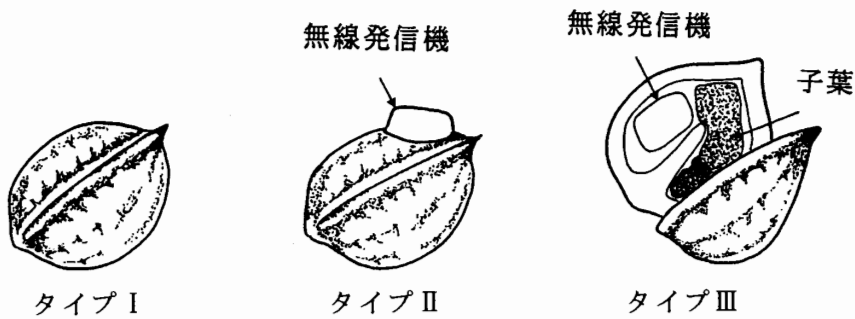


図1. ニホンリスによる選択実験に用いた3タイプのオニグルミ

タイプⅠ：普通のオニグルミ

タイプⅡ：無線発信機を殻の外側に接着したもの

タイプⅢ：無線発信機を殻の内側に入れて再び殻を接着剤で縫合したもの

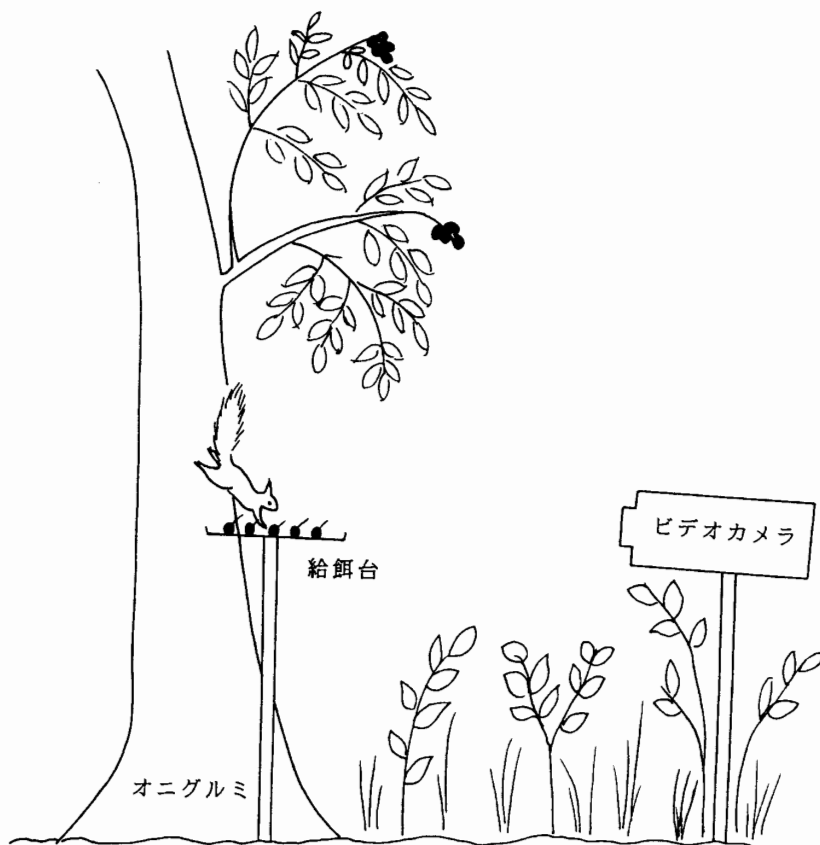


図2. 野外の給餌台に発信機付きのオニグルミを置き、リスが持ち運ぶ行動を記録する実験装置

貯食場所

セットした104個のうち、5個はアカネズミに、残り99個はリスによって持ち去られた。リスの運んだ99個のうち、35個はすぐに摂食されたが、64個は貯食されていた。クルミを枝の間に貯える場合（樹上貯食）が28個、落葉の下に貯える場合（地中貯食）が36個あった。図3は1か所の給餌台から貯食された29個のオニグルミの位置を示している。いずれも給餌台よりも標高の高い山側に運んで貯食する傾向がある。この傾向は、地形の異なる別の餌台においても同様であった。

図4は運搬されたクルミの給餌台からの直線距離を示している。給餌台から持ち去ってすぐに摂食する場合に比べて、貯食する場合はより遠くへ運んでいる傾向がある。貯食のための運搬距離は最小1mから最大62mであったが、特定の距離が多いということはない。様々な距離に分散させる傾向がみられた。

貯食後のクルミの消費

貯食された64個のうち、16個は後日別のところに運搬されて再貯食された。この場合、同じリスが運んだのか、別のリスなのか、あるいはアカネズミが運んだのかは不明である。中には5回も貯食場所が変わったものもある。再貯食される場合、種子はさらに給餌台から遠くへ運搬される。最大96mまで運搬されたものもあった。

最終的には64個のうち、37個はリスによって食べられ、15個はアカネズミに盗まれた。4個は途中で発信機の電池が切れて不明である。実験を終えた翌5月には8個が放置されたまま、発芽の機会を得た。

図5は、給餌台にセットした日以降、クルミが食べ残されている割合を示している。104個セットしたうち、4個は電池切れで不明のため省略した。給餌台から最初に持ち去られた日を0日目とした。この段階で、摂食された35個と、アカネズミに盗まれた5個がすでになくなり、60個が残っている。その後10日間で貯食されたクルミは次々に食べられ、42個に減っている。60日目まではゆっくりと減少するが、その後はほとんど回収されず放置されたままになる。

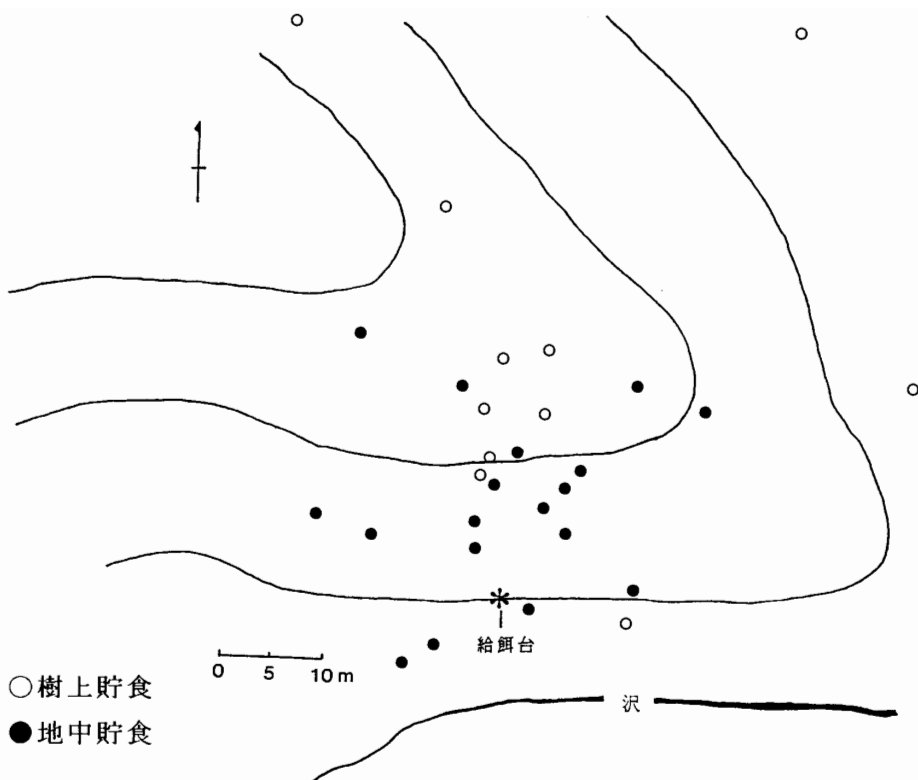


図 3. ニホンリスによって貯食された発信機付きオニグルミの位置
(1992年 9月～12月調査)

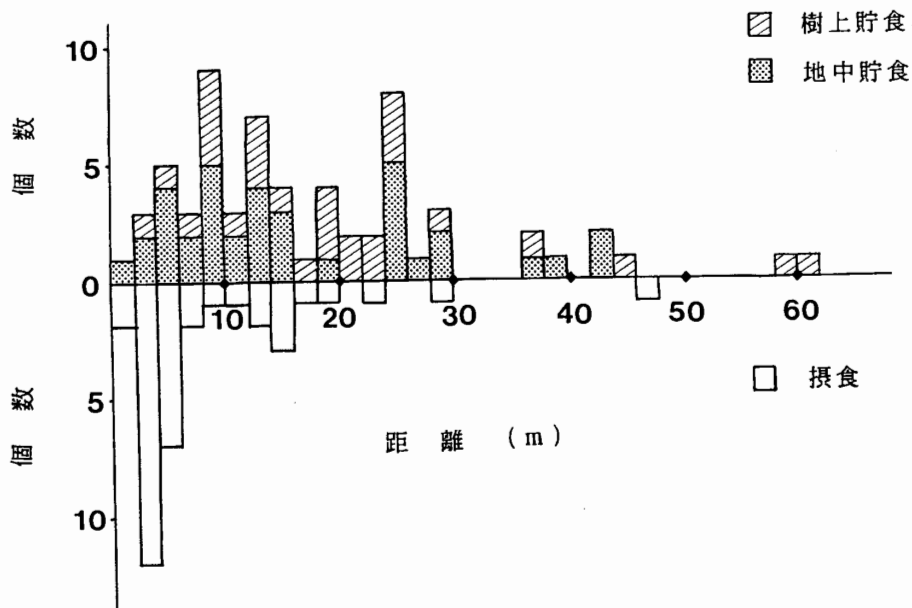


図 4. ニホンリスによって貯食された発信機付きオニグルミの
給餌台からの距離
(1992年 9月～12月調査)

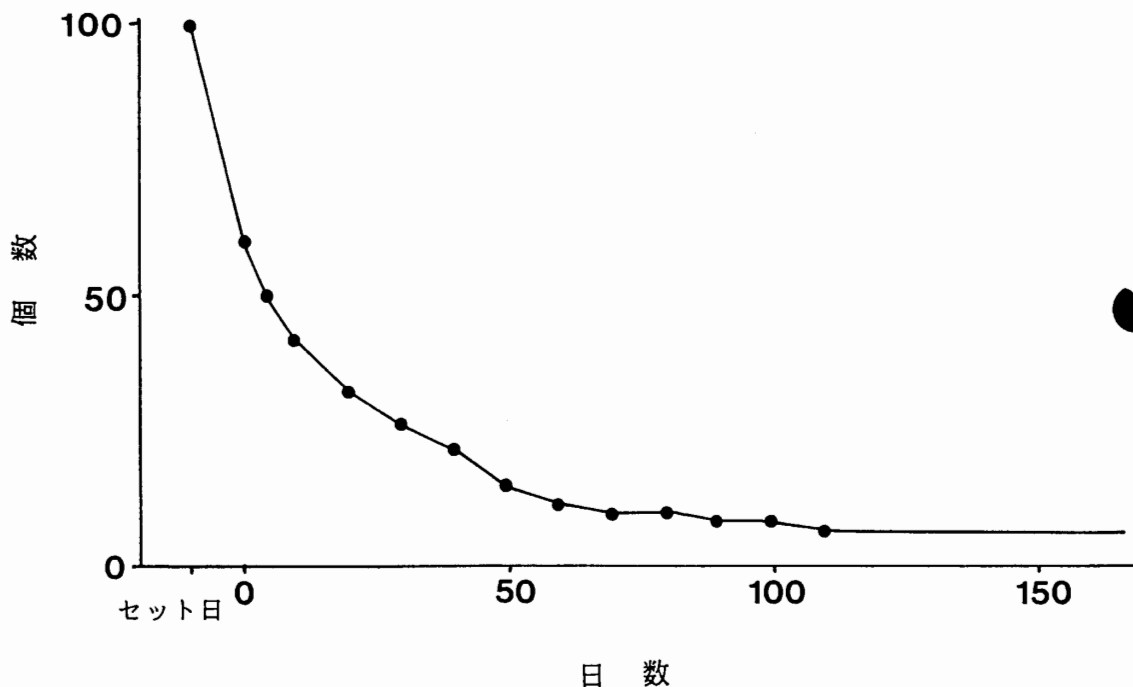


図5. 発信機付きオニグルミが食べ残されている割合（1992年9月～1993年5月調査）
給餌台から運んだ日を0日目とする

実生の位置

以上により、リスがクルミを春先まで食べ残す可能性があることが野外で示された。次に、実際にオニグルミの実生がどのようなところから生えてくるのかを野外で調べた。調査は植栽されたスギ、ヒノキ、天然生のモミ、アカマツ、イヌシデ、アラカシが優占する 160m×80mのコドラートにおいて、実生の発生が終了する7月に行った。図6はオニグルミの母樹と実生が出た位置を示している。当年生から6年生までの合計52個体の実生が確認された。母樹の直下に多数の実生がみられるが、図右下の尾根部分にもかなりの実生が発見された。母樹から実生までの直線距離は最大 105mであった。山側に運ぶ習性や運搬距離などから、リスによって貯食されたものが、食べ残されて発芽した可能性が大きい。実際の森林において、リスによる天然更新が起こる可能性が示唆された。

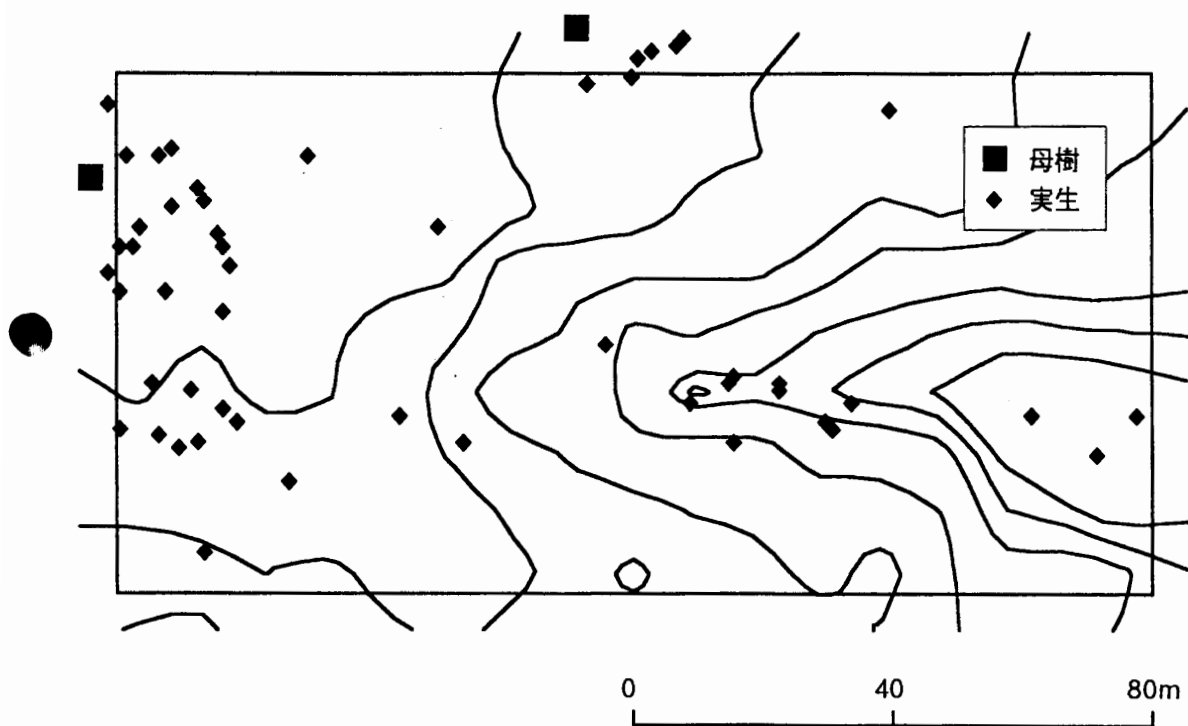


図6. オニグルミの母樹と実生の位置 (1994年 7月調査)

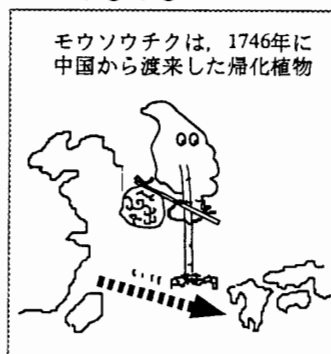
タケが森林を駆逐する？

関西支所 育林部 土壌研究室 鳥居厚志

研究の背景

モウソウチクの履歴．．．

1. そもそも．．．



2. そして．．．



3. ところが．．．



近年、西日本各地の里山で、タケが自然に分布を拡大して周囲の森林に侵入し（次ページの写真を参照）、樹木を枯らす現象が観察されており、その多くはモウソウチクである。モウソウチクは1700年代に中国から渡来した帰化植物で、筍や竹材生産のために広く各地に植栽された。近年、経済構造の変化に伴って多くの竹林が放置されるようになり、放置された竹林が自然に分布を拡大しているらしい。竹林の拡大は、造林木を枯死させるほか、里山景観の変化や生物多様性の減少などをもたらし、社会的にも大きな問題である。そこでその実態を探るために、京都府下での過去数十年間の竹林の変化を調べた。

竹林面積の変化とその背景

京都府南部の二つのエリア（田辺町エリアと山城・井手町エリア、図1参照）について、地図類（1953年、1975年）や空中写真（1985年）から竹林や森林の分布を判読し、その変化を調べた。表1と図1がその結果である。図表から分かるように、どちらのエリアでも年代を経るに従って、竹林の群落の数や面積は増加しているが、森林はおむね減少している。



スギの造林地に侵入するモウソウチク（滋賀県余呉町）



アカマツ等の二次林に侵入するモウソウチク（滋賀県近江八幡市）

<1953年→1975年>

この期間の森林の増減をみると、田辺町エリアでは減少しているが山城・井手町エリアではやや増加している。この期間にはどちらのエリアでも宅地などの造成によって森林の消失が進んだが、山城・井手町エリアでは、はげ山の緑化が進み、その面積が消失面積を上回ったとみられる。一方この期間には竹林が大幅に増加しているが、その成立箇所は、森林のあとに成立している場合と、畑や果樹園など耕地のあとに成立している場合がほぼ同じ割合であった。このうち少なくとも耕地のあとの竹林は、人為的に植栽されたものと考えられる。

<1975年→1985年>

この期間には、どちらのエリアでも竹林が増加して森林が減少している。そして竹林の成立箇所は、森林のあとが大半であり、ほぼ森林が竹林に置き換わったことが分かる。現在も竹林から森林中へタケが点々と侵入している状況からみて、自然に分布を拡大している可能性が高い。

すなわち、1975年までの竹林の増加は、筍・竹材生産のための植栽による部分が少なくないが、1975年以後は「自然増」であると考えられ、これは過去の統計（筍・竹材の作付面積など）や聞き取り調査からも裏付けられた。

竹林の成立と立地環境

1985年の竹林の分布をみると、田辺町エリアでは“島状”の分布であるが、山城・井手町エリアではほとんど一面の竹林であり、モウソウチクは環境条件を問わず生育できるような印象を受ける。西日本では、気温や降水量などモウソウチクの生育に必要な基本的な気候条件は満たされていると考えられるが、それ以外にモウソウチクの生育に必要な立地環境、または、逆に侵入を阻む環境条件があるのだろうか？

図2は山城・井手町エリアの地形・表層地質と1985年の竹林分布を対比した図である。図をみると、竹林分布は丘陵地・河岸段丘（表層地質は大阪層群堆積物と段丘堆積物）上に集中していることが分かる。これは、もともとこれらの場所に多く植栽されたことが一番の理由であるが、あまり山地側（図の右方向）へは拡大していないように見える。このエリアの東半分の地域は花崗岩の山地であり、特に1950年代までは崩壊地など“はげ山”が多かった地域である。現在でも土層が薄く、筍等の生産に好適であるとは考えにくい。土壌条件の劣悪さのためにモウソウチクが侵入しにくい、または拡大の速度が遅いという可能性があるが、この点は今後より詳細に検討しなければならない。

表1. 竹林, 森林の群落規模の変化

	田辺町エリア (総面積は1934ha)			山城・井手町エリア (総面積は1539ha)		
年	1953	1975	1985	1953	1975	1985
竹林の群落数	24	112	174	40	66	86
1群落の平均面積*	0.73	1.42	1.59	1.36	5.24	5.03
竹林の合計面積*	17	159	277	54	346	432
森林の群落数	23	42	53	23	42	48
1群落の平均面積*	41.95	20.41	14.70	29.84	16.84	13.37
森林の合計面積*	965	857	779	686	707	642
竹林+森林の面積*	982	1016	1057	741	1053	1074

*面積の単位はha

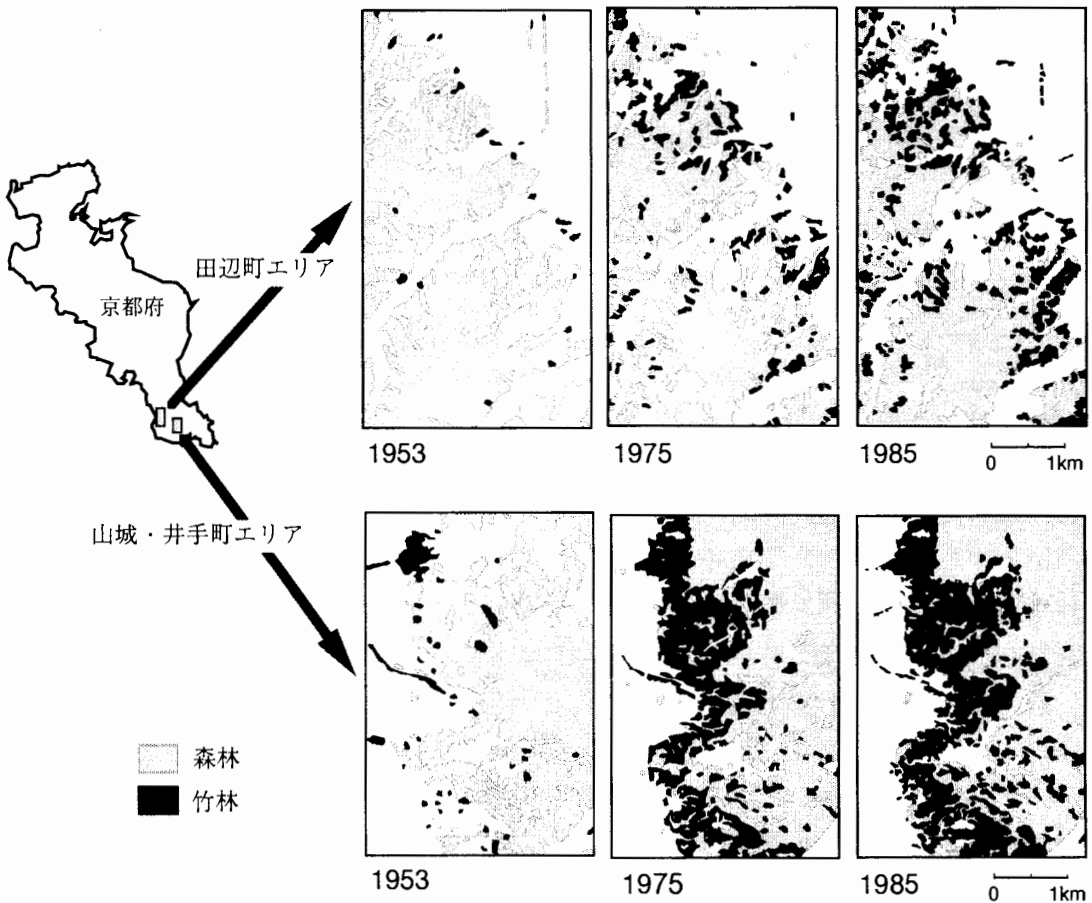


図1. 竹林と森林の分布の変化

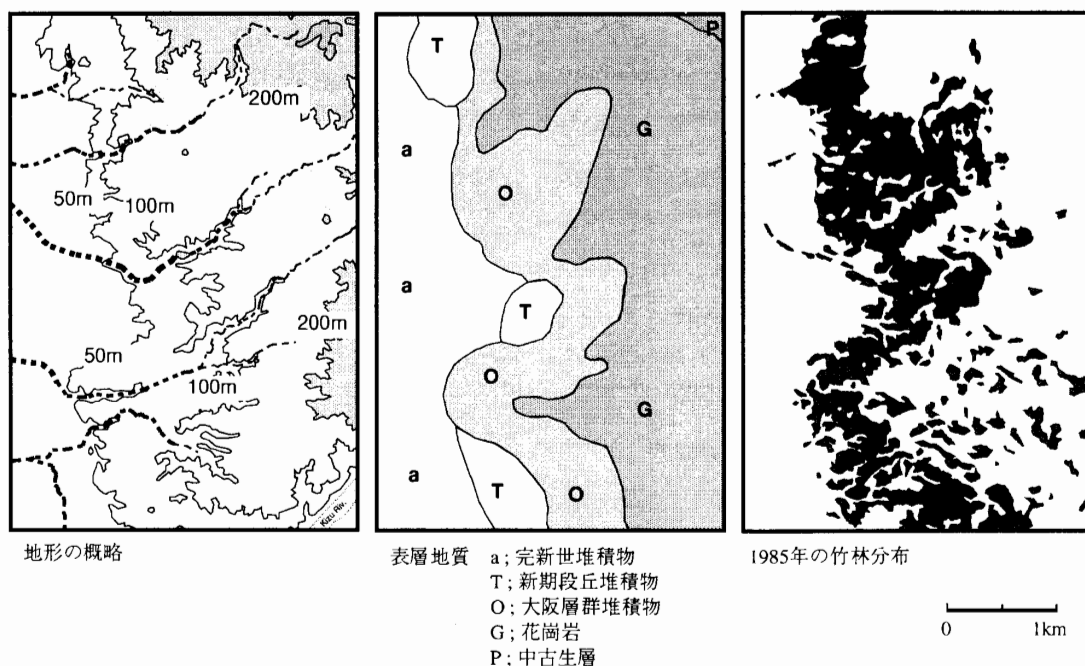


図2. 山城・井手町エリアの竹林分布と地形・地質の対応

一方、田辺町エリアの丘陵地の表層地質は、モウソウチクで埋め尽くされた山城町の丘陵地と同様に大阪層群堆積物であり、マクロにみれば、今後もタケの拡大に不都合であるとは考えにくい。

竹林の今後

どちらのエリアでも竹林の周囲はほとんど未利用のマツ・コナラ二次林や放棄田、荒地などであるため、人為的にタケの侵入が阻止されることは少ない。ただし、京都市の西部や長岡京市、大山崎町などでは、宅地やゴルフ場の造成のために大規模に竹林が消滅している例があり、大規模開発による竹林の消滅を危惧する声もある。

京都府南部地域の二次林は、マツ枯れに伴って上層木の平均樹高が低くなり、せいぜい10m前後であるのに対して、モウソウチクの群落高は10～15mに達している。そのため、一般的にモウソウチクの林冠は二次林の林冠よりも上に位置している。つまり、タケは地下茎からタケノコを発生させて数か月の間に二次林の高さを追い越し、その上に葉を展開する。そのため樹木は光を得にくくなり、早晚枯死することが多い。しかも後継樹を残すことも困難である。一方タケの更新は光に依存しないため、暗い二次林内へも容易に侵入できる。

このようなメカニズムでタケは森林を駆逐していると考えられ、現実にはエリア内の各所では、二次林内へタケが侵入し、周囲の樹木が被圧されている状況が観察されている。このようにみてくると、今後も田辺町エリアの丘陵地ではタケの侵攻が止まる可能性は小さく、分布拡大が続くと予想される。

竹林の拡大は、西日本各地の里山でみられる現象である。その拡大の程度は、植栽の履歴や土壌条件、周囲の森林との競合関係によって様々であろうが、今のところ竹林が自然に消滅する気配はない。竹林の拡大によるメリット・デメリット両面を勘案し、注意深く見守っていく必要がある。

スギ花粉の量はどのように決まるか

多摩森林科学園 樹木研究室長 横山敏孝

はじめに

スギ花粉症の患者が年々増加し、花粉シーズンになるとTVや新聞で花粉症を取り上げる。今年は近年にない多量の花粉が飛散したが、前年は非常に少なかった。このように、飛散する花粉量は年ごとに変わる。その原因として、スギ林が作る花粉量が変化すると推測されていたが、その実態は十分に解明されていなかった。この研究では、スギ林の雄花の生産量を7年間にわたって測定して、雄花量と気象条件との関係を解析した。その結果、スギ林が生産する花粉の量を決める主要な環境要因は夏の気象条件であることが判明した。研究の成果は医療関係者や自治体の実施している花粉飛散総量予測の精度を高めることに活用できる。

花粉の形成

スギの雄花の形成は開花前年の6月末から7月に始まり、夏から秋にかけて發育し、10月末になると雄花の中で花粉が完成する。その後、冬を越して、春に開花し、花粉を放出する。開花期間は、関東地方では、2月下旬から3月の終わりまで続く。

スギ林の作る花粉量の測定

スギ林の花粉そのものの測定はできないので雄花の量を測定した。花粉は雄花の中に形成されるので、雄花量から花粉量を推定できる。筑波山地域（茨城県八郷町）の7か所のスギ人工林を対象に雄花量を測定した。

測定は林床に設置した雄花トラップを用いた。花粉放出後に落下してくる雄花をトラップで捕捉して、スギ林1㎡当たりの雄花の個数を求めた。トラップの雄花を受ける部分は円形で直径37cmであり、1林分に20個を設置した。

スギ林における雄花生産量の年次変動

筑波山地域の7か所のスギ林を平均した雄花数/㎡の7年間（1988年～1994年）の変動の状況を図に示す。7年間を通じた平均は6,268個/㎡であった。雄花の生産が最も多かった1993年には19,508個/㎡、これに対し、最も少ない年の1994年は149個/㎡であった。最多年の雄花数は最少年の42倍あり、大きな変動幅を観察した。しかし、花粉の豊作年が隔年や3年周期でくるといような周期性は明瞭ではなかった。

気象条件との関係

7か所のスギ林の雄花数と雄花形成期初期の7月の気象条件との関係を調べた。気象データはスギ林に近い気象庁土浦測候所の測定値を主に用いた。

取り上げた気象条件は、1か月間の降水量、全天日射量、日照時間、日最高気温の平均、平均気温である。雄花個数は対数変換した値を用いた。

気象要因のなかで、全天日射量、日照時間、最高気温、平均気温はいずれも雄花の量との間に正の相関があった。相関係数は0.808～0.873と、各要因とも大きな差異はないが、この中では全天日射量との相関が最も高かった。降水量については負の相関($r=-0.917$)がみられた。また、全天日射量と降水量を説明変数とした場合の重相関係数は0.942、決定係数0.887であった。この結果から、花芽形成期初期の気象条件がスギ林の雄花生産に年次変動をもたらす大きな要因であることが明らかになった。

おわりに

梅雨明けが早く7月に暑い晴天の日が続くとスギ林は多量の花粉を作る。この関係を定量的に表すことができた。得られた回帰式を用いて、開花前年7月の気象条件から関東平野周辺のスギ林の雄花量を予測することが可能である。

スギの成木は正常な生殖活動として花粉を作る。スギ林が多量の花粉を生産した翌春には花粉症の人々を苦しめることになる。花粉生産を減少させる方法が開発されていない現在では、花粉量の予知が消極的ながら花粉症対策の一つである。

表1. 筑波山地域の雄花生産量調査スギ林（1988年測定）

林分番号	林齢	樹高	胸高直径	本数密度
901	23 年	13 m	17 cm	2,200 本/ha
902	35	19	24	1,800
903	14	8	14	2,500
904	81	22	31	510
905	36	16	23	950
906	40	19	32	850
907	28	14	21	1,400

表 2. 雄花生産量と前年 7 月の気象条件との関係 (相関係数)

	雄花数	降水量	日照時間	平均気温	最高気温	日射量
雄花数	-	-0.917	0.873	0.808	0.824	0.886

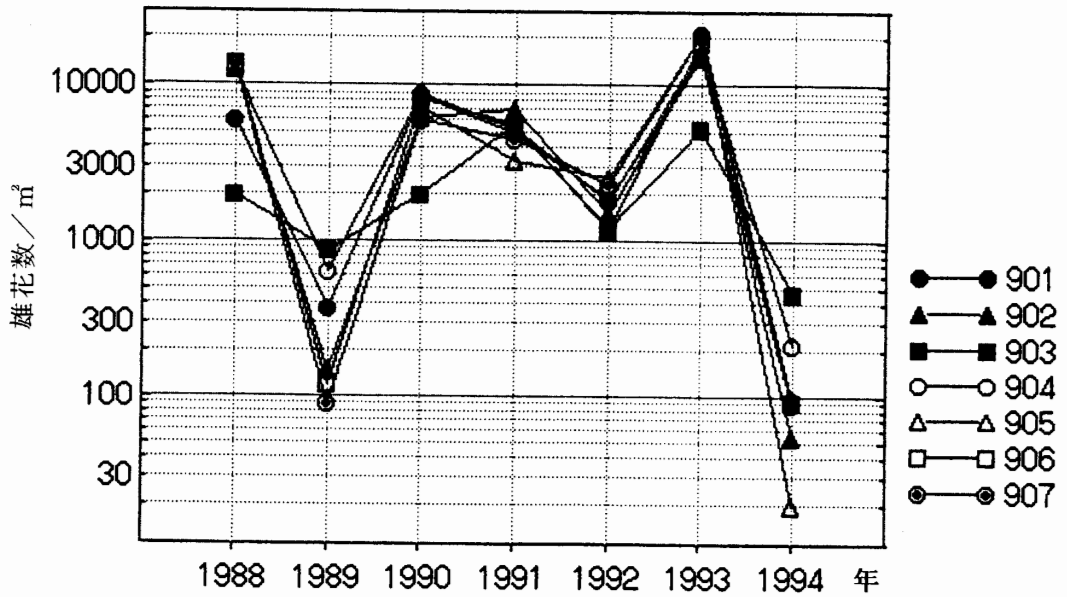


図 1. 筑波山スギ人工林の雄花生産量の年次変動

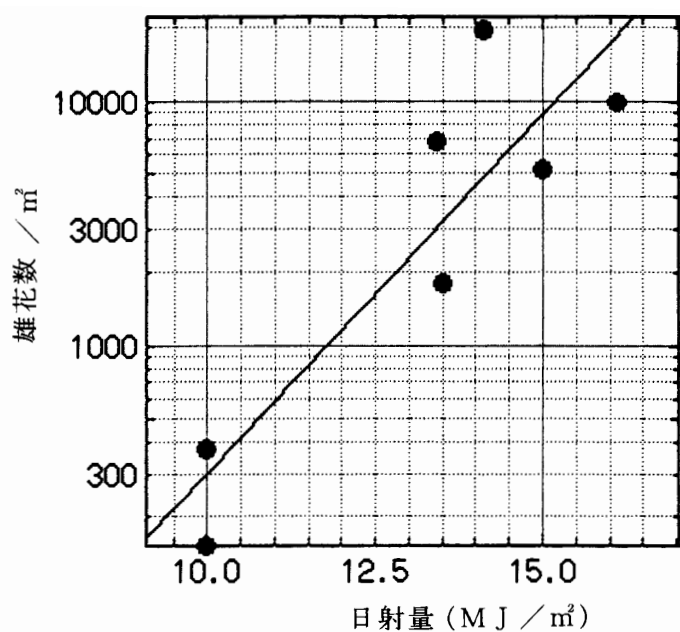


図 2. 全天日射量と雄花生産量との関係

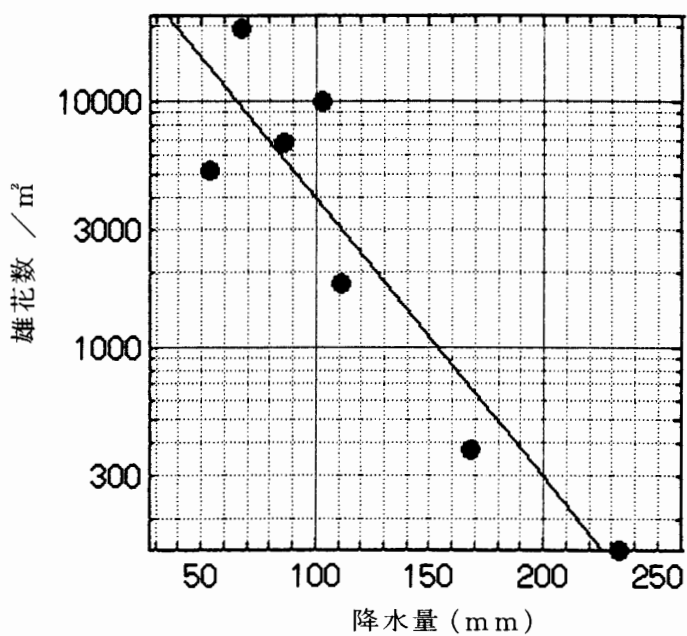


図 3. 降水量と雄花生産量との関係

水条件が決める沙漠の植生

森林環境部 植物生態科 群落生態研究室長 斉藤昌宏

はじめに

中国西北部に位置するタクラマカン沙漠及び甘肅省の河西回廊はほとんどの範囲が年降水量 200mm以下で、乾燥地及び極乾燥地に区分され大小様々な沙漠が広がっている（図1）。本地域の大部分は沙漠に区分されるが、主に土壌組成によって礫沙漠、砂沙漠、土沙漠及び塩沙漠に区分され、分布する地形も成立する植生も異なっている。沙漠化は「乾燥地などにおける、その上に成立する植生を含めた土地の劣化」とされ、その過程には人為の影響が大きく、過耕作、過放牧、樹木の過度の利用、塩類の集積が主な要因として挙げられている。自然環境が過酷なため有史前より沙漠となっており、それ以上沙漠化しないと思われがちであるが、実際は本地域においても沙漠化は進行しており、現在も植生の衰退が起きている。ここでは本来の砂漠地域において自然植生とそれを成立させる環境条件の関係を明らかにすることにより、沙漠化の進行が乾燥地域の植生に及ぼす影響を把握し、沙漠及びその周辺の環境保全に資するための基礎資料を収集した。

乾燥地における水の動態

両地域の沙漠を取り囲む山地は5000mを超える部分もあり、降水量は比較的多く、氷河さえも存在する。これらの山地から供給される水は大小・長短多数の河川を形成し、沙漠の中に貧弱ながらも植生を成立させ、末無川となって消える。大きなものは常時、小さなものは一時的に水が流れ、地形、土壌組成、河川との距離、さらに地下水の配置などを反映して、沙漠に成立する植生も一通りではない。山地の海拔高2500m付近では降水量と蒸発量のバランスがとれるため亜高山帯針葉樹林が成立しているが、海拔高が低くなると河の周辺のみポプラ属、ニレ属を主とする河谷林が分布し、尾根、斜面などはほぼ無植生となる。山地から平地に移行する地域は扇状地あるいはペチメントが発達し、河川は伏流水となるため上部及び下部には植生が発達するが、中間部分は礫沙漠となる。しかし、このような緩斜面は春先に融雪水が表面流となってこの地域を潤すため、その程度に応じ、種組成、疎密程度の異なる植物群落が成立する。扇状地及びペチメントの下部は平地部に連続しており、蒸発量が急に大きくなるとともに、場所によっては地質時代に形成された含塩層が露出しているところ、あるいは河川が停滞し塩類集積地となっているところもあり、これらを横切る河川では

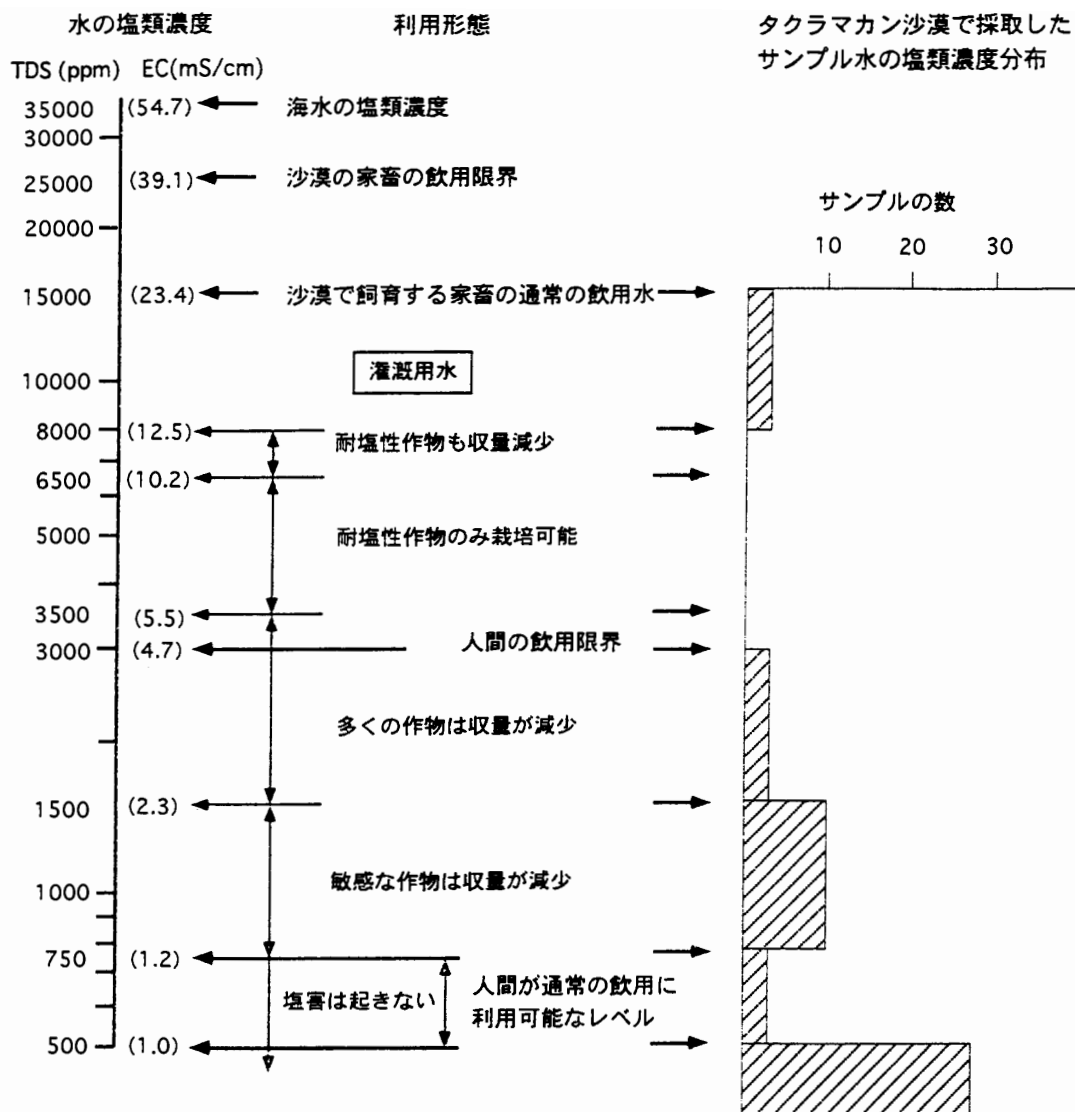
流水中の塩類濃度は急激に高まる。平地部で集合した河川は緩やかに沙漠の中を流れ、さらに河川水の滲出、蒸発を行いながら徐々に塩類濃度を高め、最後には沙漠の中で消えてしまう。図2にタクラマカン沙漠西北部で測定した水サンプルの塩類濃度分布を示す。西北部は東南部に比較して水条件は割合良いが、それでも耐塩性を持った作物を選択しなければ農業は成立し難いように、自然植生の構成種もまた耐塩性を備えたものに限られてくる。

植生の区分と配置

タクラマカン沙漠周辺において約250のプロットを調査した結果、約20種の群落が区分された。河西回廊では33プロットを調査した。乾燥地域に成立する植物群落の共通する特性として構成種数が少なく、植被率も小さい、すなわち構造は非常に単純であるが、条件に応じた分化が認められる。区分された群落は大きく四つの植生型にまとめられた。すなわち、半固定砂地型、荒漠洪水型、地下水依存型、塩類集積地型で、これらは立地条件が異なっており、地形及び土壌組成は流動砂丘地周辺の砂沙漠、扇状地及びペデメント上の礫沙漠、河川周辺でシルト質が混ざる地域、低湿地のシルト質を主とする地域などである。しかし、植生に対する最も大きな制限要因は水条件であり、供給される水の量、期間、質（塩類濃度）であった。すなわちマクロな地形が水条件を左右し、水条件に従って土壌及び植生型の配置が決められる。それぞれの植生型を構成する各群落はさらに細かな水条件と土壌条件の差によって住み分けを行っている。図3にタクラマカン沙漠周辺に分布する群落及びそれをまとめた植生型と環境条件の関係を示す。種構成はやや異なり、礫沙漠の占める比率が高いという違いはあるが、河西回廊の資料を解析した結果も、ほぼ同様の傾向を示した。

植生による微気候緩和

乾燥気候が植物の生活に与えている影響、あるいは逆に植生の存在が気候に与えている影響の大きさもたいへん興味をそそるところであろう。短期間の調査であるが、無植生の流動砂丘域、河畔に成立しているポプラ疎林、オアシス内などで温・湿度を測定し比較した。無植生域とオアシス内では気温、湿度の日変化に明確な違いがあり、後者では大気中の水蒸気量がやや多く、気温の日較差は小さい傾向が認められた。図4に1日の行程中の測定結果を示す。オアシスは沙漠の中でモイスト・アイランドを形成し、沙漠域と比べて気温が低く、相対湿度、水蒸気混合比とも大きいことが分かる。同様のことは無植生域とポプラ疎林の比較においても認められるが、その差は微妙であった。オアシス程度の植生の量と広がりがないとその差は顕著にならないものと思われる。



* WHOなどによる乾燥地域の水利用の限界値。塩類濃度は可溶性総固体量 (TDS) で示されている (Goudie and Wilkinson, 1977)。

** 下記の関係式 (Liu and Chang, 1992) によって TDS で示された値を電気伝導度 (EC) の値に換算した。
 $EC(mS/cm) = 0.00156 \times TDS(ppm)$ 。

図 2. 乾燥地における水の塩類濃度と利用限界

地下水 (常時流水河川) 依存型植生

流動砂丘化危険植生

① *Phragmites communis* 群落、
地形 (河川敷低位段丘)
水分環境 良好 (上流部淡水)

② *Populus diversifolia* 疎林
地形 中位段丘 洪水面
水分環境 地下水位 2~8 m

③ *Tamarix hispida* &
Phragmites communis 群落
地形 ①から②の中間位置
水分環境 良好 (やや塩化)

塩類集積地型植生 (帯水型)

⑤ *Halostachys caspica* 群落
地形 平坦 塩集積少
水分環境 適湿からやや乾燥

⑦ *Salicornia europaea* 群落
地形 平坦 塩集積大
水分環境 湿地

④ *Tamarix ramosissima* 群落
地形 ②の背後地 高位段丘面
水分環境 やや乾燥 塩化傾向

⑥ *Kalidium foliatum* 群落
地形 平坦 塩集積中
水分環境 適湿からやや乾燥

荒浸洪水 (洪水時流水ワジ) 型植生

① *Ephedra przewalskii* 群落
地形 洪水時河川敷 中大礫地帯
河川敷内で礫質、

② *Reaumuria soongorica*
地形 一段高い段丘
小礫、乾燥

③ *Calligonum roborovskii* 群落
地形 流動砂丘地帯
河川中心より遠く、堆砂、

④ *Lycium ruthenicum* 群落
地形 平坦低地粘土質土壌
地帯 水分環境良好

図 3. タクラマカン沙漠周辺の植物群落と立地環境

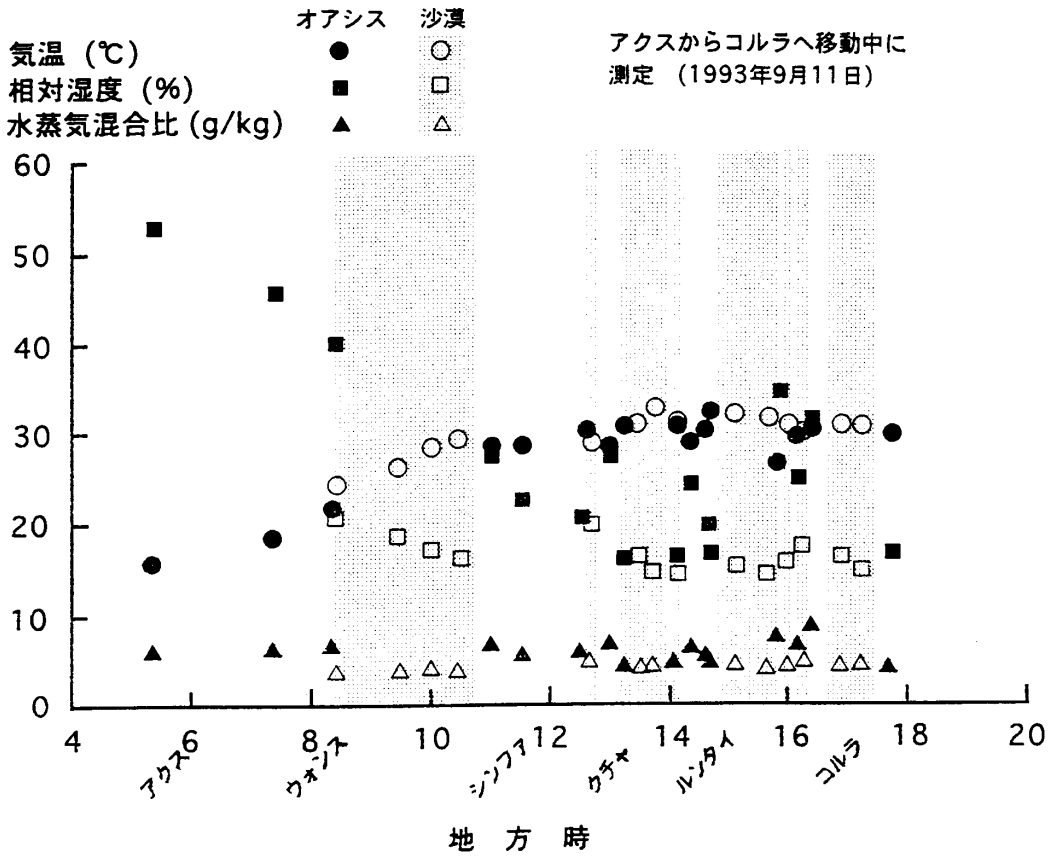


図4. 沙漠とオアシスの間の気温、湿度及び水蒸気混合比の差

木造住宅は地震に弱いのか

－阪神・淡路大震災の調査結果から－

木材利用部 構造利用科 構造性能研究室長 神谷文夫

木造建築の被害の概要

プレハブ工法、枠組壁（ツーバイフォー）工法、丸太組構法は、総じて被害が少なかった。その理由の第一として、官が認定する工法あるいは官主導で導入された工法であるため規定が厳しいことが挙げられる。構造計算で設計する集成材構造は、激震地域内では数は少なかったが、無被害であった。伝統的工法の社寺仏閣、入母屋造りや数寄屋造りの住宅は、比較的被害が大きかった。

今回の地震では、在来軸組工法の被害が目立った。しかし、一口に在来軸組工法といっても、同工法は戦前の時代から今日に至るまで大きく変遷しており、多種多様である。本報告では、被害の大きかった在来軸組工法の被害について分析する。

在来軸組工法と耐震設計の変遷

日本の伝統的な構法は、束の上に立てた太い柱に貫を通し、鴨居を差す方式であった。この構造は、力学的に言えば、柱と梁が一定の角度を保ったまま動かないように固く接合するラーメン構造といわれるもので、今日の鉄骨建築でごく一般的な構造である。しかし、金物を使わない接合部は完全に固くすることができず、大地震のたびに被害を繰り返してきた。筋違いが日本の木造建築に採用されるようになったのは、明治に欧米の建築様式が導入されて以来である。

明治24年の濃尾地震（M8.4）では、その頃結成された造家学会（今日の建築学会）によって初めて科学的な震害調査が行われた。日本での科学的な耐震研究の始まりである。これによって筋違いの強さが証明され、大正6年に佐野利器が著した『家屋耐震構造論』では、「筋違　－　家屋の垂直面に於いては出来る限り、如何なる所にもなるべく多くかつなるべく大面にわたる様にこれを用いることを原則とすべきなり」と、今日でもなお新鮮な提案がなされている。

しかしながら、筋違いが耐震設計の中心になるには、それから約35年後、耐震設計が公に義務づけられる昭和25年の建築基準法制定まで待つ必要がある。このとき、行政の力によって、柱と梁だけを中心とする伝統的な構法から、壁を中心とする構法へ

の転換が強制されたと言える。しかし、あとに述べるように、いまだにこの耐震設計法が本当に世の中に浸透しているとはいえない。

耐震設計の具体的なプロセスは、建物の大きさなどに応じて地震の際に建物に加わる力（必要な耐力壁の量、表1）を計算し、その力に抵抗できるように耐力壁（表2のように種類によって耐力が異なる）を設ける方法で、壁量計算と呼ばれている。建物に加わる地震力は建物の質量に比例するので、便宜的に建物の床面積から推定する。ただしその時、屋根の瓦などに応じて比較的重い建物と軽い建物とに分けている。今回の地震の木造住宅の被害原因の一つとして、ふき土の上に日本瓦を乗せた重い屋根が多かったことが取りざたされているが、基準法の建前からすれば当たらない。

基準法は昭和34年と56年に改正されて、必要壁量は表1のように次第に厳しくなっている。昭和56年以後の基準は俗に新耐震基準と呼ばれているもので、1階部分だけを見ると、必要壁量は昭和25年の2倍以上、昭和34年改正の約1.4倍になっている。

表1. 必要壁量の変遷（2階建ての場合のみ掲載） 単位 cm/m²

建築物の種類	昭25		昭34改		昭56改	
	1階	2階	1階	2階	1階	2階
屋根および壁の重い建築物	16	12	24	15	33	21
屋根の軽い建築物	12	8	21	12	29	15

表2. 耐力壁の倍率の変遷

軸組の種類	昭25	昭34改	昭56改
土塗壁	0.5	(裏返しなし) 0.5 (裏返しあり) 1	0.5
木ずり壁	0.5	(片面) 1.5 (両面) 3	(片面) 0.5 1
3つ割筋違い	2	1.5	(3 cm X 9 cm 筋違い) 1.5
2つ割筋違い	3	3	(4.5 cm X 9 cm 筋違い) 2
柱同寸筋違い	4	4.5	(9 cm X 9 cm 筋違い) 3
柱同寸筋違い たすき掛け	8	6	(9 cm X 9 cm 筋違い) 5 たすき掛け)

備考 ・筋違いはその端部を、柱と梁その他横架材との仕口に接近して、ボルト、かすがい、釘、その他の金物で緊結しなければならない。
 ・壁を設けまたは筋違いを入れた軸組を釣り合いよく配置しなければならない。
 ・このほか構造用合板の耐力壁（倍率2.5）は昭47の告示から。

在来軸組工法の被害の原因

(1) 耐力壁の不足

図はある地域について森林総研が調査した建物の建設時期と被害との関係である。サンプル数は約 300 棟。建築時期は外観からの推定。店舗併用住宅は除いてある。これを見ると、確かに古い建物ほど被害は大きく、逆に新耐震のものはほとんど被害がない。なお、古い建物には蟻害を受けたり腐朽で土台などが腐っていたものがあつた。しかし、蟻害や腐朽は地震被害の一因ではあつても、主因は明らかに耐力壁の不足である。

それでは、古い建物の被害は緩かった当時の耐震基準にあるかといえ、必ずしもそうではない。木造住宅等震災調査委員会（建設省、林野庁）が行った調査によると、新耐震基準で建てられて被害にあつた建物の多くは、耐力壁の量が基準を満たしていなかった。耐震基準はいまだに完全には守られていないのである。

(2) 筋違いの方向と耐力壁の配置のアンバランス

耐震基準は壁量の規定だけではない。

「耐力壁は釣合いよく配置しなければならない」となっている。耐力壁の配置には二つの意味がある。一つは建物がねじれないように平面的に、つまり東西南北の各面にできるだけ均等に配置すること。もう一つは、筋違いの場合同一の壁線上に筋違いの方向がペアをなすように配置すること。筋違いは基本的に圧縮で抵抗するので片筋違い 1 本では一方向にしか効かないからである。

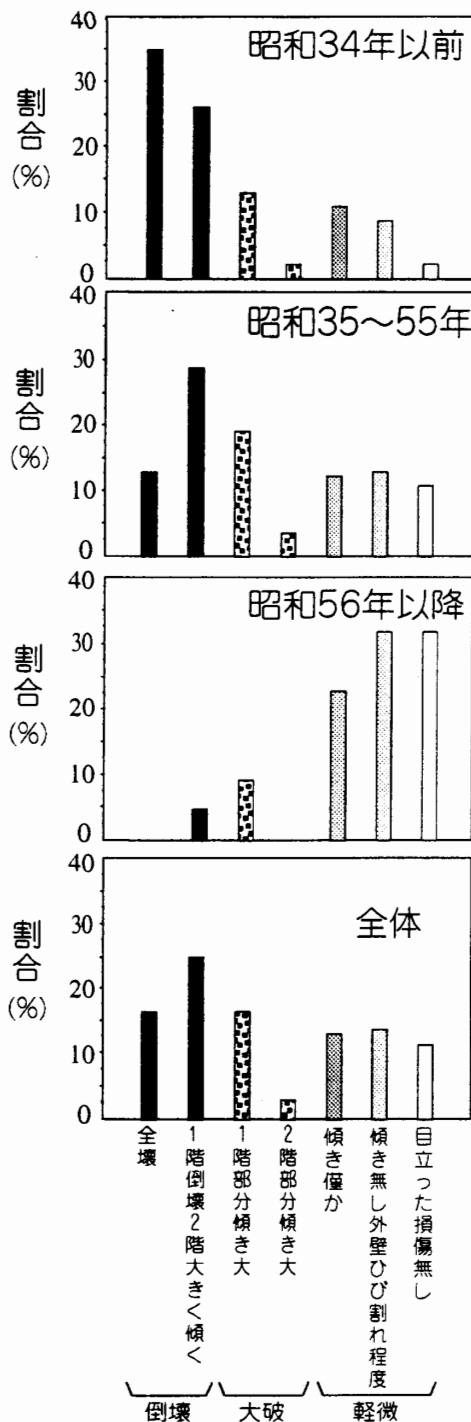


図. 木造住宅の建設時期別被害
(東灘区内、建設時期は推定)

これが守られずに被害を受けた典型的な建物は、1階部分の間口にほとんど耐力壁がない店舗併用住宅（写真1）と、土地が狭いために間口に耐力壁をほとんど配置できなかった狭小な敷地の住宅（写真2）である。写真2のように耐力壁の長さが91cmでは平面的なバランスが保てないだけでなく、筋違いがペアになっていないので、結果的に耐力壁がないのも同然である。

写真1. 1階間口にほとんど耐力壁がない店舗併用住宅は軒並み倒れた。

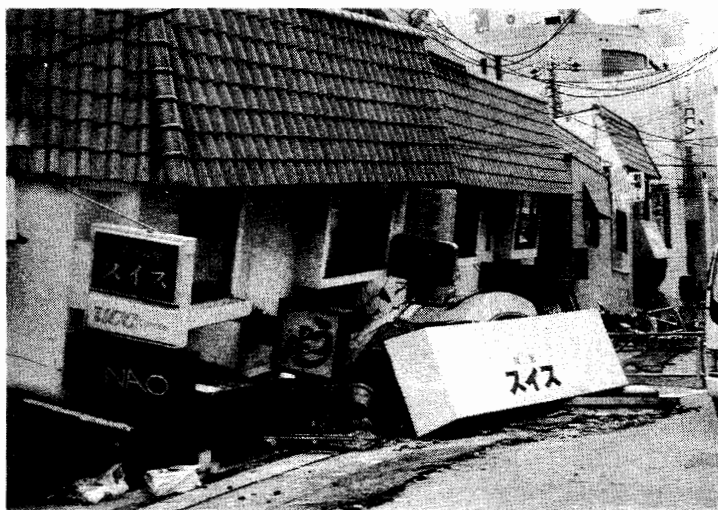


写真2. 狭小な敷地に建てられた住宅は、間口に十分な耐力壁を設けられないため大きな被害を受けた。



(3) その他

その他の原因として、柱－土台、筋違い端部などの接合部の強度の不足、無理な増改築、蟻害・腐朽などがある。

これからの問題 ー木造建築をより科学的にすることー

日本は長い木造建築の歴史を持っている。しかし、大地震でも無傷でいられるほど強くなったのは耐力壁構造が普及したつい最近のことである。

しかし、伝統文化に対する思い入れは強く、今日でも、筋違いや耐力壁による耐震構造の原理を正しく理解せずに、柱を太くして貫や鴨居を差せば、今の構法以上に強くなると考えている人が多くいる。太い柱と梁の建物は立派であるが、立派に見えることと耐震性とは全く関係がないことを知る必要がある。今回の地震で、「科学的に設計されたものが強い」ことがはっきりと示されたことは不幸中の幸いであった。

建築基準法は建物の設計法を述べたものではなく、倒壊などによる人命の損傷を防ぐための最低の基準を定めたものである。従って、それさえ守っていればよいというものではない。歴史を振り返れば、これまで大地震に対して科学が勝利したことは一度もない。耐震配慮は可能な限り行なわねばならないし、それが設計者の義務でもある。従って、今回の地震で「古い建物は当時の耐震基準が緩かったから倒れた」という意見には異論がある。現に図にあるように古い住宅でも被害がほとんどないものがある。そのような住宅は十分に耐震配慮がなされた建物である。

今回の地震では、建築に対する要求性能が、生命の安全だけでは済まされないことが明らかとなった。修理や建て替えのばくだいな責務や、住まいという生活基盤の喪失は、人間の一生を変える甚大な被害である。従って、基準法の目標を越え、これからは、大地震でも無傷でいられるような高い耐震性を持つ住宅を供給することが望まれている。それが可能であることは今回の地震で証明された。

また、単に設計が悪いで片付けるのではなく、店舗付住宅や狭小敷地の住宅のようになぜそのような設計になるのかを見極め、それに対処し得る設計技術を開発する必要がある。設計者と施工者の責任を明確にし、検査体制を見直す必要もある。しかし何よりも重要なことは、木造建築をより科学的にすることである。設計者や技術者だけでなく、一般の施主や材料を供給する側にも努力するべきことは多い。