地震荒廃地における森林群落の成立過程に関する研究 (I)

—遷移初期における植物の自然侵入特性—

楊 喜田*, 北澤秋司**

Study on Forest Establishment in Degraded Land Caused by Earthquake in Central Japan (I)

—The Characters of Natural Plant Succession in Initial Phase—

YANG Xitian* and KITAZAWA Shuji**

目 要

1984年、長野県西部地震により大規模な崩壊地が御岳山に発生した。1986年、地震荒廃地における森林の成立過程を知るため、6箇所に調査プロットを設置し、8年間の地震荒廃裸地における植物の自然侵入状況を調べた。その結果、地震荒廃地における草本植物、木本植物の侵入種数は、両者とも経過年数に従って増加し、その侵入は、周辺林地までの距離との間に、明らかな負の相関が認められた。草本植物、木本植物の侵入個体数は経過年数に従って増加したが、木本植物の侵入個体数には、年度による差が大きく、また、当年生稚樹の枯損が多くみられた。ヤナギ属、カバノキ属のような先駆樹種は出現頻度が高く、経過年数に従って個体数は増加した。先駆樹種以外のヒノキ、サワラなどは、出現頻度が低く個体数も少なかった。また、ヒノキ、サワラは侵入しても、何らかの原因で枯損し、ほとんど定着しないことを認めた。従って、地震荒廃地のような厳しい立地条件下では、厳しい環境条件を緩和する対策を講じ、積極的に先駆樹種の導入を行う必要があると考えられる。

1. はじめに

山地荒廃は、多種な自然災害及び人為攪乱により起こる。1984年9月、長野県西部地震災害が、長野県王滝村を震源とする M6.8 の地震により発生し、御岳山の南東斜面に大崩壊が起こった。地震荒廃地は、豪雨、台風、火事などの災害によって起こる荒

廃地と較べて、大規模で、土壌攪乱深度が大きいなどの特徴があげられる。このため、地震により生じた荒廃地は、植物群落の復旧、回復が容易でなく、特に防災機能や生産力の高い群落を形成させることは容易ではない。したがって、地震荒廃地の植物の定着特性を考慮した植物導入を行う必要があると考えられる。

従来、地震による崩壊地復旧には、その一般的特性についての研究は多く、多分野にまたがってなされている（山口，川辺，1982；酒井，1985；斉藤ほか，1995）。これらの研究に較べ、地震跡地における植物の導入方法に関する研究は少ない。特に、植物の遷移および植物群落構造の経年変化に関する研究は少ない（例えば、中静ほか，1986；北沢，1988）。

キーワード：地震、荒廃地、植物侵入、森林成立

Key words: Earthquake, Degraded land, Plant invasion, Forest establishment

* 岐阜大学大学院連合農学研究科

The United Grad. Sch. of Agric. Sci., Gifu Univ.

** 信州大学農学部

Fac. of Agric., Shinshu Univ.

そこで、本研究では、御岳山の望ましい植生復元手法を検討するための基礎資料を得るため、地震荒廃地における植物の自然侵入過程、特に森林の初期成立過程について考察を行うことを目的とした。

2. 調査地及び調査方法

2.1 調査地の概要

1984年9月14日8時48分頃、長野県木曽郡王滝村御岳山南東方地域を震源としてマグニチュード6.8の強い地震が発生した。この地震による土砂災害は意外に大きく、斜面崩壊と土石流が発生し、29名の生命を奪い、河川・道路・橋梁・山林・住宅などに多大の被害を及ぼした。地震災害の最も多い王滝村は、“木曽の五木”として全国に名高い林業村であり、また、登山、スキー、休暇など観光村として、多くの人々が訪れるようになっていた。村の総面積31,270 haの92%にあたる28,810 haが山林原野で、林地荒廃は655 haに及んだ。1箇所当たりの崩壊面積は0.58 haで、これは、豪雨によって発生する一般の表層崩壊が1箇所当たり平均0.2~0.3 haであることと比較すると、崩壊面積、崩壊深とも大きく、地震による地すべり性崩壊の特徴を示している(堀内, 1985)。この地域は、長野県全域から見ると南西部に片寄っていて、大平洋気候の影響を受けている。付近の気象観測点(35°49' N, 137°24' E)によると、平均年間降水量は3,453 mmで、そのうちの51%は6月から9月の間に集中する。年平均気温は7.2°Cで、最低月平均気温は2月の-5.6°C、最高月平均気温は9月の20.2°Cである。今回の対象地の標高は1,030 mから2,030 mまでであった(表1)。この地域には、ヒノキ・サワラ群落は標高1,000 m以上、1,600~1,700 mまでの山地帯の大部分を占め、その中にスギ、ヒノキ、サワラ植林がモザイク状に分布している。シラビソ群落は、標高1,600 mから2,300 mまでの亜高山帯における代表的な針葉樹林である。混生する高木にはコメツガ、クロベ、キタゴヨウなどがあり、これらが常在し、所によってコメツガの純群落のところも少なくない。王滝村の中心を流れる木曽川の支流の河床部には、立地に適応し種々なヤナギ群落が見られる。また、亜高山帯上部の沢状地やなだれ斜面の不安定立地には、亜高山帯性の針葉高木林の成立はみられず、ミヤマハンノキやダケカンバなどの夏緑低木林が生育している(宮脇, 1977)。

2.2 調査方法

1986年8月、次の6箇所に調査プロットを設置した。御岳崩壊による土石流が流下した王滝川に1箇所(No. 1)、濁川に1箇所(No. 2)、伝上川から濁川にかけて尾根を土石流が乗り越えた部分に2箇所(No. 3, No. 4)、御岳崩壊による崩壊土砂で吹き飛ばされた森林跡地に2箇所(No. 5, No. 6)の計6箇所とした(図1、表1)。No. 1は土石流の堆積物が厚さ40 m、礫の混入率が30~40%であった。No. 2は土石流が一旦停止した場所であった。No. 3は大転石で占められていた。No. 4は表土が僅かに残存していた。No. 5はNo. 3ほどの大転石ではないが、礫の多い所であった。No. 6は凹地で湿地であった。

各調査プロットは、10 m×10 mの方形区とし、その中を1 m×1 mの網目になるようにステンレス線を張り区分した。植物調査は、1986年から1990年までは年2回、1992年までは年1回とし、各プロット

図1 調査地の位置およびプロットの配置

Fig. 1 Location of the study site, and layout of the study plots.

表1 調査プロットの概要

Table 1 General characteristics of the study plots.

Study plot	Elevation (m)	Angle (degrees)	Direction	Distance to forest land (m)
No. 1	1,030	0	—	600
No. 2	1,060	2	N	150
No. 3	2,030	2	E	300
No. 4	1,953	5	E	800
No. 5	1,560	10	E	500
No. 6	1,560	8	W	1,000

に出現した植物の種、株数、位置を記載し、次の調査時に植物の定着、消失、新侵入に分けて記載した。それに基づいて、各種の定着率及び出現頻度を次式で定義し計算した：定着率(%)=(1-消失数/前回の総個体数)×100；出現頻度(%)=(種の出現プロット数/調査プロット数)×100。

調査は、1986年から1992年までの8年間にわたり継続し、地震荒廃地における植物の自然侵入の初期特性に着目して行った。

3. 結果及び考察

3.1 出現した植物の種数の変化

出現した植物の種数の経年変化を図2に示す。木本植物の種は各プロットとも経過年数に従って増加したが、調査プロットの間、大きなばらつきが認められた。1992年において出現した木本植物の種は、6箇所の平均で7.7種/100 m²で、最低値（3種/100

m²）は湿地であったNo.6区に出現し、最大値（13種/100 m²）は土石流が一旦停止したNo.2区に出現した。

木本植物は主に4属（ヤナギ属、ハンノキ属、カバノキ属とヒノキ属）が出現した。ヤナギ属では、バコヤナギ (*Salix bakko*)、オノエヤナギ (*S. sachalinensis*)、イヌコリヤナギ (*S. integra*)、カワヤナギ (*S. gilgiana*) の4種で最も多かった。ハンノキ属ではヤマハンノキ (*Alnus hirsuta* var. *sibirica*)、ミヤマシャブシ (*A. firma* var. *hirtella*) の2種、ヒノキ属ではヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*)、サワラ (*C. pisifera*) の2種が出現したが、カバノキ属ではダケカンバ (*Batula ermanii*) の一種のみ出現した。また、周辺林地には針葉樹が優占しているにもかかわらず、先駆樹種であるバコヤナギとダケカンバは各プロットに共通にみられ、ヤマハンノキも83%の出現頻度を示した（表2）。

図2 経過年数による植物の種数/100 m² および個体数（木本植物、本/100 m²；草本植物、100株/100 m²）の変化

Fig. 2 Changes in number of species and individuals. The bars represent the number of species/100 m² and the marks represent the number of individuals (woody plant, stem/100 m²; herbaceous plant, 100 stems/100 m²), respectively.

表 2 1992年現在における植物の種組成, 相対頻度および個体数

Table 2 Species composition, relative occurrence frequency, and the number of individuals of the plants as of 1992.

Species	Japanese name	Percent occurrence (%)	Number of individuals						
			No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	Mean
Woody species									
<i>Salix bakko</i>	Bakkoyanagi	100	5	13	24	2	37	13	15.7
<i>Salix sachalinensis</i>	Onoeyanagi	67	11	45	14	—	8	—	13
<i>Salix integra</i>	Inukoriyanagi	67	16	3	3	—	4	—	4.3
<i>Salix gilgiana</i>	Kawayanagi	33	42	—	11	—	—	—	8.8
<i>Alnus hirsuta</i> var. <i>sibirica</i>	Yamahannoki	83	17	28	—	5	2	2	9.2
<i>Alnus firma</i> var. <i>hirtella</i>	Miyamayashabushi	50	6	12	—	—	13	—	5.2
<i>Betula ermanii</i>	Dakekanba	100	16	15	71	3	50	1	26
<i>Chamaecyparis obtusa</i>	Hinoki	50	4	73	—	—	3	—	13.3
<i>Hydrangea paniculata</i>	Noriutugi	33	—	1	—	—	11	—	2
<i>Rubus crataegifolius</i>	Kumaichigo	67	16	14	1	—	2	—	5.33
Others/Unidentified			2	19	—	1	—	—	3.7
Herbaceous species									
<i>Artemisia indica</i>	Yomogi	100	279	540	128	201	5	280	238.8
<i>Carex kiotensis</i>	Tekirisuge	67	310	208	—	168	63	—	124.8
<i>Erigeron annuus</i>	Himejyoon	50	6	59	—	—	1	—	11
<i>Polygonum cuspidatum</i>	Itadori	67	619	79	439	2,206	—	—	557.2
<i>Polygonum nepalense</i>	Tanisoba	33	—	104	—	1	—	—	17.5
<i>Anaphalis margaritacea</i>	Yamahahako	67	808	139	—	—	85	7	173.2
<i>Plantago asiatica</i>	Oobako	33	—	285	—	—	—	83	61.3
<i>Oenothera stricta</i>	Matuyoigusa	33	—	24	—	—	1	—	4.2
<i>Oenothera biennis</i>	Arechimatuyoigusa	33	—	2	—	—	222	—	37.3
Others/Unidentified			2,084	2,508	99	287	1,222	16	1,036

草本植物の種は各プロットとも経過年数に従って増加した。1992年において、各プロットに出現した草本植物の種数は、4～15種/100 m²と変動が大きく、6箇所の平均は9.5種であった。最大値は木本植物と同じNo. 2区にみられたが、No. 3区の表層は大転石に占められているため、草本植物の侵入種数が非常に少なく、この区が最低値になった。なお、各プロットにはヨモギ (*Artemisia princeps*) のみが共通にみられた。

地震荒廃地において、植物はほとんど飛来種子により侵入すると考えられる(中静, 1986)ことから、種数のばらつきは、周辺林地までの距離の違いが影響したと考えられる。1992年のデータにおいて、木本植物の出現種数と周辺林地までの距離との間には、明らかな負の相関が認められた($r^2=0.69$, $P<0.05$)。また、草本植物については、No. 3区を除くと、出現種数と周辺林地までの距離との間に相関関

図 3 種数と周辺林地までの距離の関係

Fig. 3 The relationship between the number of species and the distance to the forest land.

係が認められた ($r^2=0.75$, $P<0.05$) (図3)。

3.2 出現した植物個体数の変化

出現した植物の全個体数の経年変化を図2に示す。6年間(1986年～1992年)の草本植物の全個体数は、経過年数に従って漸次増加した。これに対し、木本植物の全個体数は、経過年数に従って増加傾向がみられたが、全個体数がピーク値に達した後に、再び減少した。そのピーク値が出現する時期は、プロットによって異なっていた。例えば、No.1区では1988年、No.2区では1990年、No.3区とNo.4区では1989年、No.5区とNo.6区では1991年に、それぞれピーク値が出現した。これに影響する要因として、周辺林地の種子生産状況が考えられる。個体数のピーク値の出現時期が同じ年になっているNo.3区とNo.4区、No.5区とNo.6区では、それぞれ同じ林地から更新種子が飛来したと考えられる。

1992年現在の本木植物の全個体数を表2に示す。6箇所の平均値は106.5本/100 m²であった。プロッ

ト間に11本/100 m²から223本/100 m²と大きな違いがみられた。木本植物の出現全個体数と周辺林地までの距離との間には、高い負の相関が認められた(図4a)。各プロットの出現全個体数間にばらつきが生じたのは、周辺林地までの距離の違いに起因したものと考えられる。

草本植物の個体数をみると、6箇所の平均値は2,261株/100 m²で、最低値は386株/100 m²、最大値は4,106株/100 m²で、プロットによりばらつきが大きかった。No.3区とNo.6区に出現個体数が少なかったのは、No.3区は大転石が多く、表層土壌がほとんどないために乾燥し易いこと、No.6区は湿地であるために表層の通気性が低いことが起因したと考えられる。草本植物の出現個体数と周辺林地までの距離との間には、相関関係が認められなかった(図4b)。これは、侵入した草本植物が容易に結実し、その落下種子が発芽し、定着した結果によるためと考えられる。

3.3 木本植物の侵入および消失過程

木本群落の成立過程をさらに詳しく検討するため、主要な木本植物の侵入および消失過程を分析した。1986年から1989年の4属の侵入個体数と消失個体数の変化を図5に示す。木本植物の侵入個体数の変動は激しく、ある時期にピーク値に達することが認められた。侵入した個体数のピーク値の現われた時期は、出現した個体数のピーク値の現われた時期と一致していた。この結果と同じように、市河、小見山(1988)は、御岳の亜高山帯林における稚樹発生について調査した結果、個体群密度の変動は当年生稚樹の個体数に影響されることを認めた。

しかしながら、侵入個体数のピーク直後に消失個体数のピークが現れ(図5)、その結果、定着できる個体数は少なくなった。市河、小見山(1988)および北原ほか(1988)は、発芽当年と発芽2年目の稚樹の消失率が高いと指摘した。発芽当年の枯死原因は乾燥で、根系が発達した発芽2年目の枯死原因は、凍上融解によって表土が持ち上げられルーズになり、根系が露出したこと(北原ほか, 1988)であると考えられる。

1987年から1989年の6プロットの平均定着率の変化を図6に示す。カバノキ属、ハンノキ属およびヤナギ属の定着率は、ヒノキ属より高いことが明らかであった。また、木本植物の定着率は時期によって大きく変動した。特に、1987年6月と1988年10月に

図4 100 m²における植物の個体数と周辺林地までの距離の関係。

a: 木本植物 b: 草本植物

Fig. 4 The relationship between the number of individuals in 100 m² and the distance to the forest land, where a denotes the woody plant, and b the herbaceous plant.

図5 経過年数による100 m²における出現個体数と消失個体数の変化 (棒線：出現個体数 折線：消失個体数)

Fig. 5 Changes in the number of emerged and dead individuals with a lapse of years observed in five plots (100 m²). The bars represent the number of emerged individuals and the marks represent the number of dead individuals

において、カバノキ属、ハンノキ属、ヤナギ属およびヒノキ属とも低い定着率を示した。

定着率に影響する環境要因として、水分条件、温度変化、動物などがあげられる (Finegan, 1984)。今回の調査結果には、厳しい環境条件 (高い表面温度、水分不足、凍上など) の影響が大きいと考えられる。1986年には冬の凍上融解の影響を受け、また、1987年4月には月総降水量が少なく (110 mm)、平年の20%しかなかった。1988年8月には、月平均気温は22.0°Cで、平年より2°C高かった。また、月間降水量は290 mmで、平年より84 mmも少なかった (図7)。これらの要因により、1987年6月と1988年10月において、低い定着率が生じたと考えられる。

以上の結果から、地震荒廃地の遷移初期過程における木本植物の定着は、極めて不安定なものである

といえる。木本植物の侵入、定着が可能か否かは、種の遺伝的な性質 (明るさなど林床の環境に対する適応性) によって決まるばかりではなく、周辺環境条件によって大きく左右されるといえる。ヒノキ、サワラのような遷移後期樹種は、侵入しても厳しい環境 (乾燥、高温等の極端な環境変動等) への適応性が低いため、極めて定着しにくいと考えられる。なお、先駆樹種はこの厳しい環境条件を改善し、極端な環境条件を緩和する能力を有している (倉田, 1963; Jordan and Farnworth, 1982; Finegan, 1984; Anderson, 1987; 山寺, 1993)。このことから、森林群落の形成を図るためには、先駆樹種を積極的に導入して、厳しい環境の緩和を図り、遷移後期樹種の生育に好ましい環境条件を作り出すことが重要である。

図 6 経過年数による木本植物の 6 プロットの平均定着率の変化。

a : ハンノキ属 b : ヤナギ属 c : カバノキ属 d : ヒノキ属

Fig. 6 Changes in mean survival ratios of four woody plant groups in 6 plots with a lapse of years, where a denotes *Alnus* group, b denotes *Salix* group, c denotes *Betula* group and d denotes *Chamaecyparis* group

図 7 1987年と1988年における(a)月平均気温、(b)月総降水量の変化および平年値との比較

Fig. 7 Monthly changes in (a) temperature and (b) precipitation in 1987 and 1988 as compared with averages.

4. まとめ

本研究は、地震荒廃地における森林の成立過程を知るため、植物の自然侵入状況を調べた。8年間は、植生遷移過程においては、短い期間であるが、以下の点が明らかになった。

- 1) 経過年数に従って、植物の種数と個体数の増加がみられた。植物の侵入過程は周辺林地までの距離に強く影響され、周辺林地に近い調査プロットほど種数及び個体数が多かった。
- 2) 各調査プロットに数多くの木本植物の稚樹が出現したが、木本植物では樹種ごとの環境への適応性に大きな差異があることを認めた。ヤナギ属、カバノキ属およびハンノキ属のような先駆樹種は出現頻度が高く、個体数は経過年数に従って増加し、定着していた。一方、ヒノキ属は、出現頻度が低く個体数も少なく、侵入しても枯損が多く、ほとんど定着しなかった。
- 3) 地震荒廃地の遷移初期過程においては、植物の侵入、消失が著しく繰り返されていた。遷移後期樹種は厳しい環境（乾燥、高温、凍上等の極端な環境変動）への適応性が低いため、侵入しても定着しなかった。このため、環境条件の厳しい地震荒廃地の復旧にあたっては、先駆樹種をまず導入し、森林の形成に好ましい生育環境条件を作り出すことが重要である。

以上、地震荒廃地における植物の自然侵入特性を示したが、今後、木本植物の生長および群落の発達状態について検討を行う予定である。

5. 謝辞

最後に、本研究を行うにあたり、有益なご指導とご助言を頂いた信州大学農学部山寺喜成教授、植物の鑑定を頂いた同農学部馬場多久男講師、現地調査にご協力頂いた同農学部治山学研究室の学生、長野営林局治山課および長野営林局王滝営林署の皆様へ感謝の意を表します。

引用文献

- 1) ANDERSON, M.: The effects of forest plantations on some lowsoils. I. A second sampling of nutrient stock, *Forestry*, **60**, 69-86, 1987
- 2) 市河三英・小見山章：御岳山亜高山帯常緑針葉樹林における稚樹個体群密度の年次変動，*日林誌* **70**(8), 337-343, 1988

- 3) FINEGAN, B.: Forest succession, *Nature*, **312**, 109-114, 1984
- 4) 堀内照夫: 長野県西部地震による農林災害, 自然災害特別研究突発災害研究成果 1984年長野県西部地震の地震および災害の総合調査(研究代表者 飯田汲事), 131-133, 1985
- 5) JORDAN, C.F. and FARNWORTH, E.G.: Natural vs. plantation forests: a case study of land reclamation strategies for the humid tropics, *Environ. Manage.*, **6**, 485-492, 1982
- 6) 北澤秋司: 長野県西部地震災害の荒廃地のその後 (I) 植生調査, 99回日林論 593-594, 1988
- 7) 北原 曜・真島征夫・清水 晃: 林道切取法面における木本侵入の初期過程(II) 法面造成後2-4年目の結果, *日林誌* **70**(6), 273-277, 1988
- 8) 倉田益二郎: 緑化工概論, 養賢堂 **295**, pp.1963
- 9) 齋藤正美・新谷 融・中村太士: 北海道南西沖地震にともなう奥尻島の斜面崩壊の特徴と土砂滞留, *新砂防* **47**(6), 28-33, 1995
- 10) 酒井潤一: 昭和59年長野県西部地震による斜面崩壊, 自然災害特別研究突発災害研究成果 1984年長野県西部地震の地震および災害の総合調査(研究代表者 飯田汲事), 165-178, 1985
- 11) 中静 透・谷本丈夫・鈴木和次郎: 御岳山泥流上の植生回復, 35回生態講要, 128, 1986
- 12) 宮脇 昭: 長野県の潜在自然植生図(第一集), 長野県, 134 pp, 1977
- 13) 山寺喜成・安保 昭・吉田 寛: 自然環境を再生する緑の設計, (勸農業土木事業協会, 169 pp, 1993
- 14) 山口伊左夫・川辺 洋: 地震による山地災害の特性, *新砂防* **35**(2): 3-15, 1982

(1997. 8. 5受理)

Summary

In 1984, an earthquake, named the Nagano-ken Seibu earthquake, hit the western part of Nagano Prefecture located in Central Japan, bringing about a large scale landslide on Mt. Ontake. In 1986, in an effort to understand the regeneration development process of forest vegetation in an earthquake devastated area, we laid out six inspection plots over an area of 0.1 ha, and have investigated the process of the natural incursion of vegetation into the devastated bare land over 8 years. As a result, it has become clear that the incursion species of both the herbaceous and woody plants increased in numbers with a lapse of years, and that there is an apparently significant negative correlation between the distance to peripheral forest land and the numbers of incursion species of both the herbaceous plants and the woody plants. That is, the intruding individuals of both the herbaceous plants and the woody plants increased in numbers with a lapse of years, while the number of intruding individuals of the woody plants is considerably different for each year. Further, a great number of dead young trees were observed. Pioneer tree species such as *Salix* group, *Alnus* group and *Betula* group occurred more often than forest tree group such as *Chamaecyparis* group. It was noted that the number of individuals of the former species increased over the years, whereas that of the latter was less. It was also proved that forest tree species such as Japanese Hinoki cypress and Sawara cypress were more likely to die due to some reason and even if they had intruded into the devastated land, they established foothold little there. Accordingly, in order to establish solid forestation in land severely devastated by earthquake, we suggest that the introduction of pioneer tree species is more appropriate for protecting the woody regenerations because they alleviate the harsh environmental condition.