



Title	荒廃溪流における土石移動に関する基礎的研究
Author(s)	新谷, 融; ARAYA, T?ru
Citation	北海道大學農學部 演習林研究報告, 28(2), 193-258
Issue Date	1971-12
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/20888
Type	departmental bulletin paper
File Information	28(2)_P193-258.pdf



荒廃溪流における土石移動 に関する基礎的研究

新 谷 融*

Morphological Study of Bed Load Movement
in Torrential Rivers

By

Tōru ARAYA

目 次

緒 言	194
I. 研究方法	196
II. 荒廃溪流の実態	197
1. 溪床堆積地の段丘化	197
2. 溪床堆積地の木本群落	200
(1) 樽前山系溪流	200
(2) 十勝岳山系溪流	203
(3) ブウベツ川	208
(4) トウワルベツ川	208
3. 階段状林分	210
III. 天然生同齡林分	212
1. 崩壊裸地の木本群落	212
(1) トウワルベツ川左岸	212
(2) 問寒別川左岸	212
(3) 当別川青山奥二番川地すべり地	213
2. 木本侵入の条件	215
3. 木本侵入の時期	216
(1) 道路開設による木本侵入	216
(2) 樽前川上流溪床堆積地	216
(3) 季 節	217
(4) 安定期間	218
4. 時間的情報としての樹木年輪	219
IV. 溪床堆積地の形成と土石移動年代	221
1. 溪床堆積地の形成	221
2. 土石移動年代	224
(1) 樽前山系溪流	226

* 北海道大学農学部林学科砂防工学研究室

(2) 十勝岳山系溪流	226
(3) ブウベツ川	228
(4) トウワルベツ川	228
V. 土石の移動形態	228
1. 土石移動過程の実態	228
(1) 樽前山系溪流	228
(i) 覚生唐沢	228
(ii) シンシャモナイ沢	230
(iii) モラップ沢	231
(iv) 二の沢	231
(2) 十勝岳山系溪流	231
(i) ヌッカクシフラノ川	233
(ii) ヌッカクシフラノ川左支流	234
(iii) フラノ川	235
2. 土石移動過程の分析	235
(1) 土石移動頻度	235
(2) 土石移動の距離的变化	235
(3) 同一溪床堆積地への再堆積	237
(4) 同一年代溪床堆積地の出現間隔距離	239
3. 土石移動形態のモデル	239
VI. 溪床堆積土石と砂防計画	243
1. 溪床堆積土石の意義	243
(1) 土石災害	243
(2) 時間スケール	244
(3) 山腹と溪床	244
(i) 山腹	244
(ii) 溪床	245
(4) 溪床堆積土石の位置づけ	246
2. 砂防計画への展開	247
(1) 基準点と被災対象	247
(2) 砂防調査	248
(i) 溪床堆積地の範囲	248
(ii) 土石移動の痕跡	249
(iii) 時間的・距離的解析	249
(iv) 移動形態と対策	250
摘要	251
文献	253
Summary	257

緒 言

自然災害としては、風・水・雪氷・高潮・津波・波浪・地震・火山爆発・寒冷などによる災害があげられている¹¹⁶⁾。砂防工学において対象としている、土石流（山津波）、山崩れ、地すべ

り等は、山地災害とよばれているが^{8,150)}、一般的には水害・降雨災害に含められている^{23,68)}。1947年カスリーン台風による赤城山周辺の災害⁶⁴⁾、1966年台風26号による足和田災害¹⁵³⁾、1967年神戸・呉の災害^{134,154)}、1967年羽越災害^{40,106,111)}、1968年飛騨川バス転落事故¹⁰⁷⁾等においては、洪水害・湛水害とは異なり、水よりは土石を主体とした加害と被害形態が多く現われている。これらの災害経験から、土石移動による災害すなわち土石災害の自然災害における位置づけが明確になってきた。しかも、土石災害における土石は、過去に溪床に堆積していた溪床堆積土石であり^{31,67,106,153)}、これが一時的に大量移動する、土石流とよばれる土石移動による災害が頻発している。

日本国土は狭小な山岳国であり、急勾配の中小河川が多く、過去の土石移動によって形成された扇状氾濫堆積地や、地すべり地のような緩傾斜地において、高度な土地利用が行なわれており、土石災害をうけやすい危険地帯が非常に多いという自然条件を有している。国土総合開発、地域開発により、土地利用の高度化にともなう奥地開発や、都市への人口集中化による都市近郊山麓地の住宅化等が急速に進められているが、これらの社会的条件による土地利用形態の変遷が、ますます土石災害への危険性を増大してゆく加速条件になっている。人命・財産などの被災対象が、山間・山麓の危険地帯へ接近し、過去に災害経験のなかった地帯においても災害発生が予想される。また、過去の被災対象は、山村集落における農耕地・家屋・人命等が主であったのが、開発とともに道路や他の産業施設が危険地帯へ入り込み、被災対象の質・量ともに変化し、被害度の大きな災害形態が多くなってゆくものと予想される。このように増大するであろう土石災害に対し、災害予知の方法論と防災技術の確立が強く要請されている。災害防止を計画する防災計画⁴⁴⁾においては、自然現象の予知が必要条件であるが、これには経験と直感にたよった低い次元のものと、現段階では不可能に近い、場所・時間・規模などを考えた高い次元のものがある。土石災害における自然現象は土石移動現象であり、なかでも溪床堆積土石の移動現象である。この土石移動現象の解析は、溪床堆積土石の移動の実態のなかから、その移動に関する種々の特性・規則性を抽出し、土石移動を必然的現象としてとらえることからなされねばならず、さらに実地溪流における土石移動現象予知の方法論の確立と、それにもとづく防災技術適応へのアプローチをもとめてゆかねばならない。

本論文は、実地溪流における土石移動現象を解析するうえで必須条件である、土石移動に関する時間的情報の追求と、それによる土石移動過程の分析によって、土石移動形態を明らかにしようとしたものである。

この研究に際して、御指導を賜った北海道大学教授村井延雄氏、同助教授東三郎氏、貴重な御意見と資料をいただいた北海道大学教授斎藤雄一氏、同教授谷口信一氏、横浜国立大学助教授宮脇昭氏、東京都立大学助教授町田洋氏、現地調査に御援助いただいた札幌営林局治山課・旭川営林局治山課・北海道林務部治山課・旭川土木現業所富良野出張所の関係各位に深謝の意を表す。

I. 研究方法

土石災害を生起する土石移動現象の解析は、気象・地質・地形などの因子について多くの研究が行なわれている。砂防工学では、研究諸課題の中でも、土石生産・流出に関するものがおもな研究テーマとしてとりあげられている。前者は上流山地における崩壊地に関する研究^{1,86)}がおもで、後者は下流河川における砂礫の移動に関する研究^{127,140)}がおもである。土石生産・流出の概念は明確ではなく、基本的には流域内における各地点の土石移動現象の特性を問題とすべきであるので、筆者は土石移動として論じている。溪流の場合は、各溪流の各地点における土石の移動(洗掘)・堆積に関する特性が問題とされ、山腹における崩壊・風化侵食においても、土石の移動・堆積(休止)に関する特性が問題とされるべきである。

山腹における土石移動現象としては、崩壊発生機構の解明として^{19,55,86)}、気象・地質・地形・植生などとの関連で論じられ、山崩れまたは地すべりがとりあげられた。溪床における土石移動現象に関する研究としては、縦横侵食、洗掘としてとらえた溪(河)床変動の研究^{90,123,124,142,157)}、砂礫堆・蛇行に関する研究^{48,60,61,62,84)}、砂連や Saltation に関する研究¹⁵⁵⁾、掃流に関する研究^{2,127)}、実地溪流(河川)の土石流に関する研究^{64,69,106,119,153)}、土石流の実験的研究^{10,51,87,143,158)}、砂礫流出に関する研究^{20,90,137)}などがある。これらの現象はすべて土石移動によって現われる変化であり、溪(河)床変動としての溪(河)床の上昇・低下は、溪(河)床堆積土石の増加(堆積)・減少(洗掘)によるものであり、砂礫堆・蛇行は土石移動による形態的变化であり、局所洗掘も土石の移動(洗掘)による変化である。

土石移動によるこれらの現象は、時間に対する変化量として解析されなければならない、しかも砂防工学で対象とする時間スケールの中で論じなければならない。土石移動を論ずる場合、活動性・免えき性・連続性・周期性などがおもな論点とされているが^{16,71,104,112,113,128)}、土石移動現象を解析する方法論が確立されていないため、まとめようのない議論がくりかえされている。現象解析の方法としての欠陥には、土石移動現象を流水現象から解析しようとしていたこと、土石移動についての時間的情報を示す指標がなく、また時間スケールの規定もなされていなかったことなどがあげられる。砂防工学においては、水文・水理学で発展した掃流理論を土石移動現象の解析方法としたものが多く、土石移動の特長である堆積作用から土石移動を形態的に論じようとしたものは少ない。土石移動の特長は、その移動過程において流水と区別され、ある期間は堆積するという堆積作用をもつところにあり、堆積作用から土石移動現象を解析することは重要である。また、土石移動現象には、地質学・地形学であつかわれる大スケールの侵食現象や、山腹斜面の崩壊・土石流の発生、さらには表層風化や砂連までも、同一土石移動現象に含まれる。しかし、これらの現象はそれぞれの個有な時間スケールの規定が必要であり、さらにその単位時間を示す指標を定めなければならない。

土石移動現象のなかでも、土石災害を生起している溪床堆積土石の移動は、時間的变化と

してとらえることが困難であったため、突発的現象としてあつかわれてきた。変化量は、土石の堆積作用の結果、溪床に残存している溪床堆積土石からなる溪床堆積地の変化から、また、時間は、その変化を表わしている時間的情報を実地溪流から求め、過去の一時点から現在の一時点までにいたる土石移動のくりかえし、すなわち土石移動過程を解析することによって、必然的現象としてあつかうことが可能となる。溪床堆積土石の調査方法は現時点では確立されておらず、この具体的方法の提示も当面の課題とされている³¹⁾。実地溪流の溪床堆積土石の調査は、実地測量による溪床の変動調査によっているが、これはその溪流を調査対象とした時点以後の変化を知るのみで、土石移動現象のくりかえしの中からその規則性を抽出するには多くの年数を必要とする。したがって、ある時点においてその対象流域における土石移動に関する特性を知るには、土石の堆積作用をとおして土石移動過程を明らかにし、その過程の中から規則性を抽出する方法が必要となる。

筆者は、土石移動現象を解析してゆくうえで、土石の特長である堆積作用に注目し、実地溪流の溪床堆積地を調べ、時間的情報の指標を追求した。溪床堆積土石の移動現象を、過去の一時点から現在の一時点までに

いたる変化として、時間と距離について解析し、土石移動過程を明らかにしようとした。過去の土石移動の痕跡として、溪床堆積地の同齢林分の存在から、樹木年輪数が過去の土石移動の時間的情報として有効であることを考察し、同齢林分の樹木年輪数から土石移動年代を推定し、出現年代を距離的に解析し、土石移動形態を明らかにしようとした。実地溪流としては北海道でも有数な荒廃溪流である

といわれている十勝岳山系のヌッカクシフラノ川、同左支流、フラノ川、樽前山系の覚生唐沢、シシャモナイ沢、火山性溪流であるブウベツ川、三紀層溪流のトゥワルベツ川などについて調べた (図-1)。

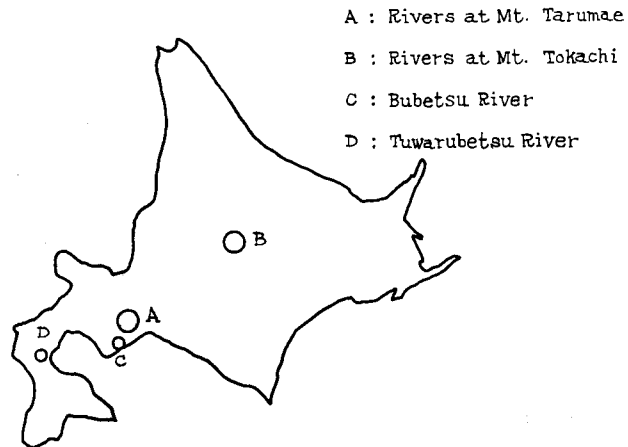


図-1 調査対象溪流
Fig. 1. Locality of investigated rivers in Hokkaido.

II. 荒廃溪流の実態

1. 溪床堆積地の段丘化

溪床堆積地は、土石の堆積作用の結果として溪床に残された溪床堆積土石からなっている。溪床堆積地は横断的に谷壁斜面とは区別され、その表面はほぼ平坦であり、現溪床面より

0.5~4 m ほど高く存在しており、ときに数段(1~4段)の平坦面をもつ、いわゆる段丘地形を有している(図-2)。渓床堆積地の段丘化は土石移動に起因する地形変化として重要なもので、段丘面、段丘崖の存在が、過去の移動回数や移動の相対的時間差を示す指標としてとらえることができる。

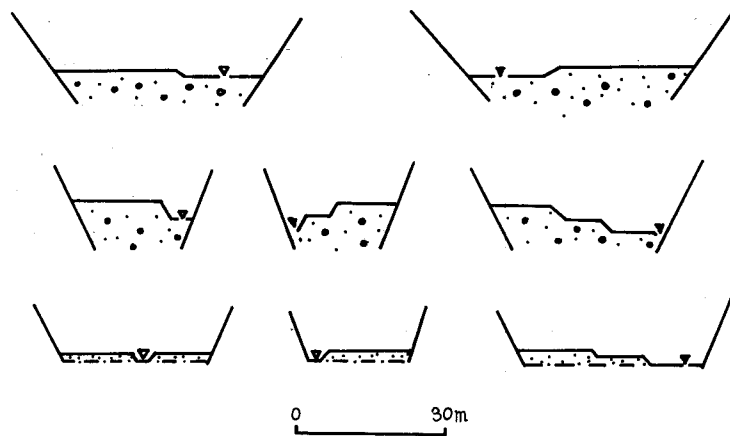


図-2 渓床内の段丘地形

Fig. 2. Terrace deposits in cross section on stream bed.

過去の upstream における土石移動によって、下流に大量の土石を堆積させた事例としては、常願寺川瀨崩れ、安倍川大谷崩れ、島原眉山の崩壊、稗田山崩壊等が有名であり、このような土石移動によって段丘地形が発達することについては多くの報告がある。町田⁷²⁻⁷⁴⁾は常願寺川、安倍川、姫川において、段丘地形の発達と土石流について論じ、土石流による大土石移動が堆積地を形成し、その後の侵食過程によって段丘地形が発達すること、さらに段丘形成を時間的にとらえることを、地形学的手法により解析している。大石・榎本¹⁰³⁾や羽田野²⁴⁾らは、段丘形成を年代的におさえ、その間の侵食量・土砂流出量を推定しようと試みている。このような地形発達史的研究は時間スケールが大きく、 $10^2 \sim 10^4$ 年位の範囲で述べられている。多摩川上流³⁸⁾、会津大川⁶⁶⁾においても「土石流地形」とよばれる段丘地形がみられ、比高数 10 m の大規模なものである。一方、本論で対象としている小規模な段丘については、野呂川¹²¹⁾の渓床において、不安定な堆積土石が段丘化している例、富士山大沢^{102,123)}における数段の渓床堆積層や小段丘状地形、または、十勝岳・樽前山を刻む中小河川^{6,7)}においても同様の観察が行なわれている。香川⁴⁹⁾は宮城県江合川支流大谷川と山梨県小国川上流において、砂州の形態と関連して、洪水ごとに階段状の砂州が形成されることを指摘しており、栗田⁷⁰⁾も阿武隈川支流白石川において同様の観察を行なっているし、竹内¹³¹⁾や新沢⁹⁴⁾等の観察の報告もある。

一般に河岸段丘^{76,80,89)}は、地盤隆起、気候変化、土砂供給の減少等により、下刻作用が強化された場合に形成され、回春・復活ともよばれている。DAVIS¹²⁾は火山活動の消長による岩屑供給量の減少によって砂礫段丘が形成されるものとしている。これらの地形学であつかう段

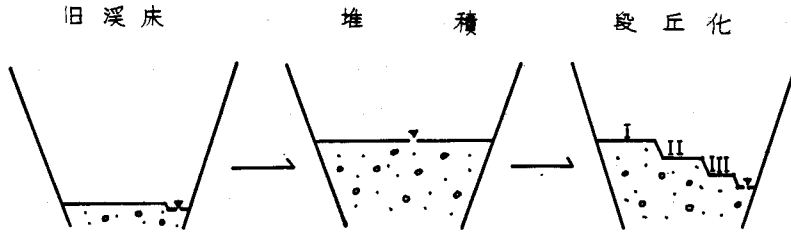


図-3 溪床堆積地の段丘化

Fig. 3. Formation of terrace deposit of bed load.

丘は時間スケールの大きい、大規模な土石移動によるものである。一方、砂防工学において対象となる堆積地の段丘化は、山崩れ、土石流、泥石流といった、大量土石の溪床への堆積によって、堆積面すなわち段丘面が形成され、一時的に溪床が上昇し、その後の侵食すなわち溪床堆積土石の移動によって段丘化されるものと考えられる。図-3に段丘形成過程を示したが、まず「旧溪床」から「堆積」に移行する要因は、土石の一時的供給増加であり、上流における大崩壊や上流溪床堆積土石の流下堆積によるものであり、この時点で段丘面Ⅰが形成される。段丘面Ⅱは段丘面Ⅰの形成直後に形成されることも考えられるが、すくなくとも段丘面Ⅰの形成後であり、側方・下刻作用とよばれるものであろう。同様に段丘面Ⅲは段丘面Ⅱの形成以後であって、Ⅰ・Ⅱ・Ⅲの段丘形成時期の相対的相違が示されている。段丘面Ⅱ・Ⅲの形成は、地形学上ではそれが土石流のような堆積作用によるものか、または側方・下刻の洪水流による侵食によって形成されたものであるかが問題となる。堆積によるものか侵食によるものか、または土石流か洪水流か、ないしは移動規模の相違か等が問題となったにしても、段丘のⅠからⅡ、ⅡからⅢへ移行する場合には、それが徐々に継続的な河床低下によって形成されたものではなく、断続的なある時間内の土石移動によってもたらされたものであり、さらに土石流も洪水流も土石移動規模の違いがあったにしても、土石が移動し堆積することに本質的差異はない。流路の変動・蛇行・河床変動等も溪(河)床に急激な土石移動がおこった結果であると考えられる。段丘面Ⅰ形成における土石移動が土石流であり、Ⅱ・Ⅲの段丘面が洪水流によるものであるという考え方もあるが、溪流においては流水作用のみの溪床変化は考えられず、当然土石移動を伴った変化であるので、ここでは土石移動による段丘面形成として包括して論ずることとする。

地形学においては段丘面の追跡対比、段丘構成材料の追跡対比によって相対年代を決定しているが、ここであつかう段丘は、比高数 m 以内であり、構成材料もほとんど同一であるため、線的・面的な追跡対比は行なえない。段丘面の比高は 2 m 内外のものが多く、しかも段丘面の大きさも $20\text{ m}\times 4\text{ m}\sim 100\text{ m}\times 25\text{ m}$ という小規模のものであり、段丘面の数も場所によって異なり、多い場合で4段であるが、2段のものが多い。この段丘面の数は、その地点における過去の土石移動回数を示すと考えられ、またその間にも何回かの段丘形成—消滅—形成をくりかえすことも考えられるので、少なくとも段丘面の数は、その地点における土石移動の最低

回数を示すものと推論しても誤りはない。伏谷・野口²¹⁾の実験にみられるように、洪水期に溪床を上昇させるような土石の移動・堆積によって段丘面が形成され、洪水減水期にその後の流水により侵食(すなわち堆積土石の移動)によって段丘崖が形成される、という形成過程は、地形的段丘地形のものと本質的には同一と考えられる。砂防工学において対象とする段丘は、時間スケールの規定と時間導入方法の確立によって、はじめて砂防工学上の問題として段丘地形をとらえ、その点的存在を一水系として追跡・対比することが可能となる。

2. 溪床堆積地の木本群落

(1) 樽前山系溪流

樽前山を刻む中小溪流のうち、太平洋に注ぐ覚生川支流唐沢(覚生唐沢)と、支笏湖へ流入

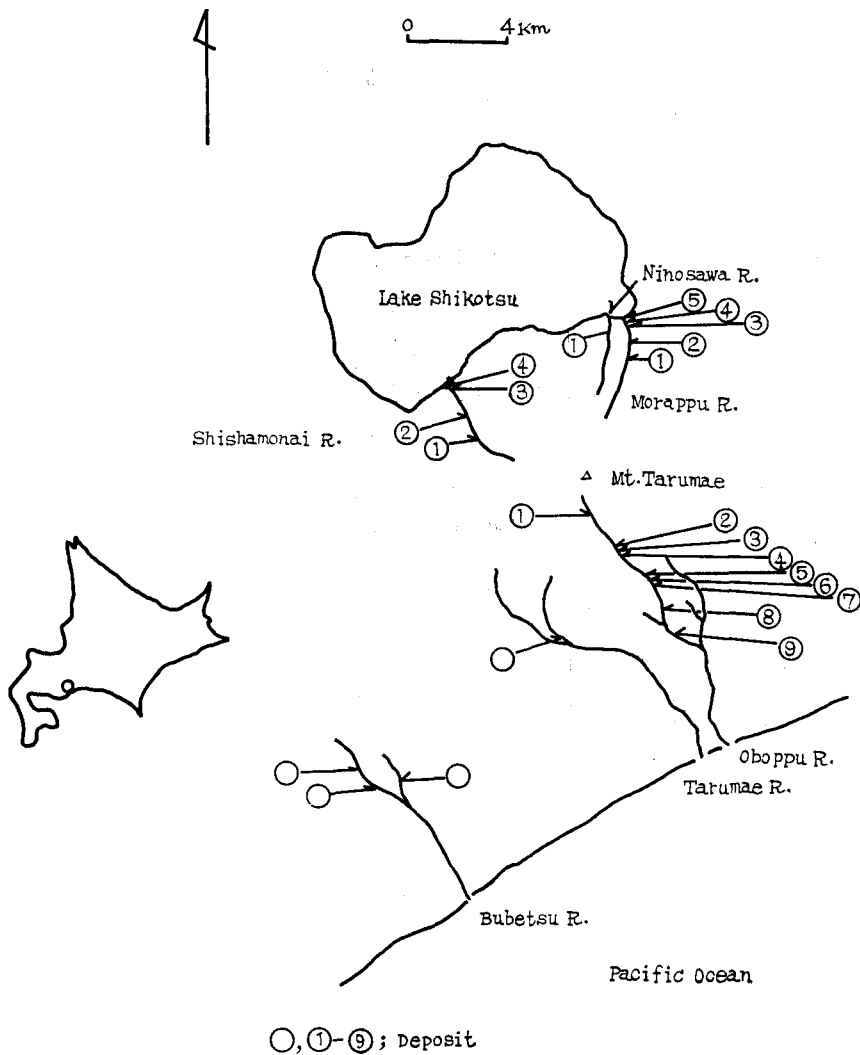


図-4 樽前山系溪流

Fig. 4. Mt. Tarumae.

するシシャモナイ沢, モラップ沢, 二の沢について調べた(図-4)。これらの溪流は, 第四紀沖積世に行なわれた樽前火山活動により形成された, 樽前火山噴出物^{34,36)}とよばれる浮石・火山灰を下刻しており, 降水時以外は流水がなく伏流している。周囲森林植生¹³⁷⁾についてみると, ミヤマハンノキ・ダケカンバ・ケヤマハンノキ・エゾマツ・トドマツ・ナガバヤナギ・ドロノキ等が多い。

覚生唐沢における溪床堆積地の木本の樹齢構成は, 表-1 のように, 堆積地 No. 2 では年

表-1 覚生唐沢堆積地の木本侵入 (1968年調)
Table 1. Ages of trees on the deposits in Oboppukarasawa River

堆積地	樹種	高 (m)	径 (cm)	年輪数	堆積地	樹種	高 (m)	径 (cm)	年輪数
No. 1	ドロノキ	1.5	—	9	No. 6	アオダモ	3.0	3.0	13
	ダケカンバ	0.7	—	9		"	2.5	2.0	10
	シラカンバ	0.5	—	4		イタヤカエデ	4.0	5.0	11
No. 2	ケヤマハンノキ	不定根		3		ケヤマハンノキ	4.0	3.0	9
	"	"		3		バッコヤナギ	2.5	3.0	7
	ダケカンバ	0.5	—	3		アオダモ	0.15	—	2
	アオダモ	0.4	—	3		ケヤマハンノキ	0.20	—	2
No. 3	ダケカンバ	3.5	2.5	11		ダケカンバ	0.15	—	2
	"	4.0	3.0	11		ミヤマハンノキ	0.10	—	2
	"	4.0	2.5	10		No. 7	ケヤマハンノキ	1.0	—
	"	5.0	3.0	11	ミヤマハンノキ		1.0	—	4
	"	4.0	3.0	11	No. 8	ミヤマハンノキ	2.0	2.0	3
	"	2.5	1.5	11		"	1.2	1.1	3
	"	2.5	1.5	10		"	1.7	1.8	3
	"	5.5	4.0	11		"	2.5	2.5	4
"	2.0	1.0	10	"		1.7	1.2	4	
No. 4	ナガバヤナギ	不定根		2		ケヤマハンノキ	1.5	1.4	3
	"	萌芽		2		"	1.0	1.0	3
	"	"		3		"	0.8	1.0	3
No. 5	ケヤマハンノキ	4.5	5.0	8	イヌコリヤナギ	1.1	0.9	4	
	"	7.0	6.0	8	ドロノキ	1.1	1.0	4	
	ミヤマハンノキ	4.5	4.5	9	No. 9	ケヤマハンノキ	1.0	—	4
	"	4.0	4.5	9		"	0.04	—	2
	ナガバヤナギ	3.5	4.5	8					
	"	4.5	4.5	9					
	ドロノキ	6.0	5.0	9					
"	5.0	4.5	8						

-----: 段丘区分

輪数3, No. 3では10・11, No. 4が2・3, No. 5が8・9, No. 7が4, No. 8が3・4というように、各堆積地はほぼ同齢林となっている。No. 1は地形的に2段の段丘となっており、上部が年輪数9で下部が4となっている。No. 6においても同様に2段の段丘で、上部が年輪数7~13で下部が2というように、堆積地の段丘区分と年輪数の区分とが一致している。

表-2 シンシャモナイ沢堆積地の木本侵入 (1968年調)

Table 2. Ages of trees on the deposits in Shishamonai River

堆積地	樹種	高 (m)	径 (cm)	年輪数	堆積地	樹種	高 (m)	径 (cm)	年輪数
No. 1	ドロノキ	8.0	7.0	12	No. 3	ケヤマハンノキ	1.7	2.0	5
	ダケカンバ	4.0	3.2	13		"	3.5	3.0	5
	シラカンバ	7.0	5.5	10		"	2.8	3.0	3
	"	3.5	2.5	11		"	1.7	2.0	3
	ナガバヤナギ	6.0	7.0	10		"	—	—	3
	ナガバヤナギ	5.5	4.5	7		シラカンバ	0.4	0.6	2
	"	3.0	3.0	5		ナガバヤナギ	0.5	1.0	2
	"	2.5	3.0	6		ケヤマハンノキ	0.7	0.8	2
	シラカンバ	1.3	1.2	4		ドロノキ	0.4	1.1	2
	"	1.1	1.1	3		カツラ	0.1	0.5	2
No. 2	"	0.8	1.2	3	No. 4	ミヤマハンノキ	5.0	5.0	5
	"	0.1	0.5	2		"	5.5	4.5	5
	トドマツ	4.5	3.5	13		"	4.5	3.0	5
	"	1.8	2.0	13		"	5.5	3.5	5
	"	1.3	2.5	13		"	6.0	4.5	5
	"	1.9	2.5	12		"	5.0	3.0	5
	ダケカンバ	6.5	5.0	13		ナガバヤナギ	2.4	1.3	4
	"	5.0	3.2	13		"	2.0	1.2	4
	"	7.0	4.5	13		エゾマツ	0.14	0.3	3
	"	7.0	4.0	12					
ナガバヤナギ	7.0	4.2	13						

-----: 段丘区分

表-2にシンシャモナイ沢の堆積地について示したが、No. 2が12・13, No. 4の4・5と同齢林となっている。No. 1は4段の段丘面をもっており、最上部が10~13, 上部が5~7, 下部が3~4, 最下部が2となっている。No. 3ではやはり2段の段丘となっており、上部が3~5, 下部が2というように、上部のものほど老齢となっている。

表-3のモラップ沢では、No. 1・No. 2が5, No. 3が3~5, No. 4が2~4, No. 9が9, また表-4の二の沢では年輪数1~2となっており、各堆積地ともほぼ同齢林となっている。

表-3 モラップ沢堆積地の木本侵入 (1968年調)

Table 3. Ages of trees on the deposits in Morappuzawa River

堆積地	樹種	高 (m)	径 (cm)	年輪数	堆積地	樹種	高 (m)	径 (cm)	年輪数
No. 1	ナガバヤナギ	5.5	5.5	5	No. 4	ケヤマハンノキ	1.7	2.0	4
No. 2	ナガバヤナギ	4.5	3.6	5		"	1.7	1.5	3
	ケヤマハンノキ	2.1	2.3	5		"	0.7	2.0	2
No. 3	"	2.1	1.8	4		ナガバヤナギ	3.0	2.3	4
	"	2.2	2.2	4		"	1.5	1.0	4
	"	1.5	1.7	3	"	1.2	0.9	3	
	"	2.2	2.3	4	No. 5	トドマツ	不定根		9
	"	2.7	3.5	4					
	"	3.0	2.5	4					
	ナガバヤナギ	1.6	1.2	3					
	"	2.5	2.0	4					
ウダイカンバ	1.4	1.1	3						

表-4 二の沢堆積地の木本侵入 (1968年調)

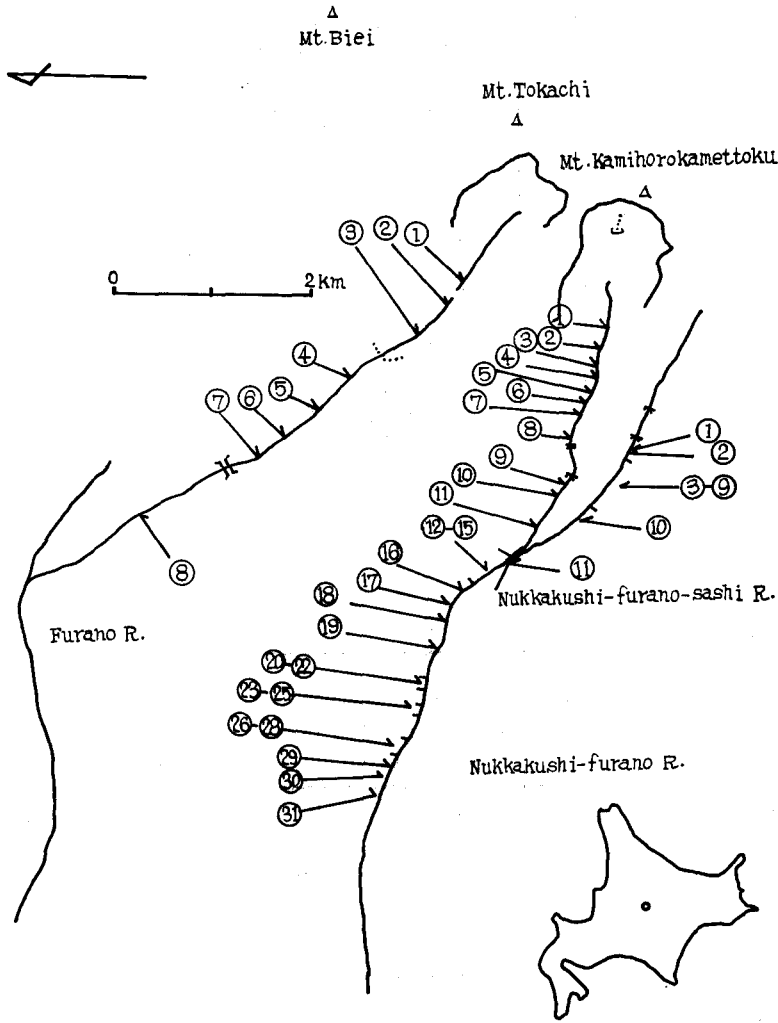
Table 4. Ages of trees on the deposits in Ninosawa River

堆積地	樹種	高 (m)	径 (cm)	年輪数
No. 1	ナガバヤナギ	萌	芽	1
	"		"	2
	ダケカンバ	—	—	2

(2) 十勝岳山系溪流

十勝岳火山群³⁵⁾は、第四紀洪積世末期から沖積世にかけて活動し、富良野岳・カミホロカメットク山・十勝岳・美瑛岳等よりなっている。ヌッカクシフラノ川は、旧噴火口をへてカミホロカメットク山に源を発しており、標高1,000m附近で富良野岳に源を発するヌッカクシフラノ川左支流と合流している(図-5)。一方フラノ川は十勝岳に源を発し、1926年の爆発^{133,144)}の際には泥流が流過した溪流であり、溪床堆積土石量はヌッカクシフラノ川に比較しやや少ないが、やはり莫大な土石量を蓄積している溪流である。

表-5にヌッカクシフラノ川の溪床堆積地における木本侵入を示したが、周囲植生¹³⁶⁾と同様に、ダケカンバ・トドマツ・ナナカマド・ミヤマハンノキ等が多い。溪床堆積地 No. 9が年輪数18~20, No. 10が30, No. 12が18~20, No. 15が17, No. 19が14, No. 27が14・15, No. 30が14というように、各溪床堆積地は同齡林であることが多い。数段の段丘をなしている場合は、No. 3, No. 4, No. 6, No. 7, No. 8, No. 12, No. 13, No. 14, No. 16, No. 22,



① - ③① ; Deposit

図-5 十勝岳山系溪流

Fig. 5. Mt. Tokachi.

No. 23, No. 24, No. 26, No. 27 というようにほとんどの溪床堆積地にみられるが、これらの段丘区分と樹齢区分とが明確になっている。

表-6 のヌッカクシフラノ川左支流における溪床堆積地では、No. 2 が 6~15, No. 4 が 15~23, No. 6 が 13 と 19, No. 7 が 15 と 18, No. 10 が 7~17, No. 11 が 13~23 というように、樹齢はばらついており、同齢林の傾向は明確ではない。2 段の段丘となっている No. 3, No. 5, No. 8 においては、No. 3 の上部が 12~19, 下部が 7~10, No. 8 の上部が 18 で同齢, 下部は 5~9 というように、樹齢区分と段丘区分とが一致している。No. 5 では、上部が 12~21, 下部が 7~13 というように、区分の明確でないものもある。

表-5 スッカクシフラノ川堆積地の木本侵入 (1967年調)

Table 5. Ages of trees on the deposits in Nukkakushi-furano River

堆積地 No.	樹 種	高 (m)	年 輪 数	堆積地 No.	樹 種	高 (m)	年 輪 数
1	—	—	—	15	ダケカンバ	3.5	17
2	ハイマツ	0.5	20		"	4	17
3	ダケカンバ	3	25		"	4	17
	ナナカマド	1	8	16	ダケカンバ	7	43
4	ミヤマハンノキ	4	20		"	5	30
	"	2	9	17	ミヤマハンノキ	4	19
	"	0.5	4	18	ダケカンバ	4	20
5	—	—	—	19	ミヤマハンノキ	3	14
6	ダケカンバ	4	25		ダケカンバ	3	14
	ナナカマド	3	25		"	3	14
	ダケカンバ	3	13	20	ダケカンバ	3	14
	"	2	8	21	ダケカンバ	3	10
7	ダケカンバ	14	(100)	22	ダケカンバ	5	25
	"	5	38		"	4	20
	"	5	37		"	0.02	*
	"	3	20	23	ダケカンバ	3	16
8	ダケカンバ	16	(100)		"	0.02	*
	"	10	50	24	ダケカンバ	4	25
	"	4	25		"	3	15
	"	2	9		"	2.5	9
	アカエゾマツ	0.4	8	"	3	9	
9	ダケカンバ	3	20	25	ダケカンバ	16	(100)
	"	1.5	18	26	ダケカンバ	0.8	4
	トドマツ	0.7	20		"	0.02	*
10	ダケカンバ	4	30	27	ダケカンバ	5	15
	トドマツ	2.5	30		"	5	15
11	ダケカンバ	2	10		"	4	14
	ダケカンバ	2.5	19		"	0.02	*
	ミヤマハンノキ	3	18	28	ダケカンバ	7	40
	"	3	20	29	ダケカンバ	5	30
12	トドマツ	1	15	30	ダケカンバ	4	14
	ダケカンバ	4	30		"	4	14
	ミネカエデ	2	20		"	3	14
13	ミヤマハンノキ	4	19	31	ダケカンバ	3	8
	トドマツ	2	19				
	"	1.5	13				
	ダケカンバ	3	14				

.....: 段丘区分 * : 当年生稚樹

表-6 スッカクシフラノ川左流堆積地木本侵入 (1968年調)

Table 6. Ages of trees on the deposits in Nukkakushi-furano-sashi River

堆積地	樹種	高 (m)	径 (m)	年輪数	堆積地	樹種	高 (m)	径 (m)	年輪数	
No. 1	ダケカンバ	崩土侵入		4	No. 5	ダケカンバ	4.5	6.0	21	
	"	"		4		"	3.5	4.5	17	
	"	1.0	2.5	15		"	3.2	2.2	17	
No. 2	ダケカンバ	3.0	4.2	19		ミヤマハンノキ	2.5	3.5	12	
	"	1.7	4.0	15		ダケカンバ	1.1	1.2	13	
	"	1.6	2.0	10	"	1.1	1.5	10		
	ミヤマハンノキ	2.0	2.2	10	"	0.6	0.6	7		
	ダケカンバ	0.6	1.0	9	No. 6	ダケカンバ	1.5	3.0	19	
	ミヤマハンノキ	1.0	1.2	9		アカエゾマツ	1.0	2.0	13	
	"	1.2	2.0	8		"	0.8	1.4	13	
	ダケカンバ	1.3	2.0	6	No. 7	ダケカンバ	3.0	4.0	18	
ミヤマハンノキ	1.0	1.5	6	"		3.0	4.8	18		
				"		3.1	2.9	15		
No. 3	ダケカンバ	3.0	4.2	17	No. 8	ダケカンバ	4.0	3.7	18	
	"	3.0	3.5	16		"	4.5	4.2	18	
	"	1.2	2.1	14		ミヤマハンノキ	4.0	4.0	18	
	"	2.3	2.5	14		トドマツ	0.6	2.0	18	
	"	2.5	4.0	14		ダケカンバ	0.8	1.8	9	
	ミヤマハンノキ	2.5	3.9	14	"	1.0	2.0	8		
	ダケカンバ	1.5	2.8	12	"	1.0	1.0	5		
	"	1.7	2.6	12	No. 9	ダケカンバ	3.0	5.9	15	
	ダケカンバ	0.6	1.4	10		No. 10	ダケカンバ	5.5	7.0	17
	"	1.0	1.5	10			"	3.5	3.9	12
	"	1.5	2.0	10			"	3.5	4.5	12
"	1.0	1.2	10	"			4.0	3.2	9	
"	2.0	3.0	8	"	4.0		3.0	9		
"	1.1	1.2	7	"	2.7	3.0	7			
No. 4	ダケカンバ	5.5	9.2	23	No. 11	ダケカンバ	8.0	5.0	23	
	"	5.0	5.8	18		ミヤマハンノキ	5.5	6.5	22	
	"	3.8	4.0	18		ダケカンバ	5.0	3.0	18	
	"	2.5	4.3	17		ミヤマハンノキ	5.5	4.5	18	
	"	4.0	4.0	17		ダケカンバ	4.0	4.5	17	
	"	4.2	3.5	17		"	5.0	4.0	13	
	ミヤマハンノキ	4.0	4.0	17						
	ダケカンバ	4.0	3.8	15						

-----: 段丘区分

表-7 フラノ川堆積地の木本侵入 (1968年調)
Table 7. Ages of trees on the deposits in Furano River

堆積地	樹種	高 (m)	径 (cm)	年輪数	堆積地	樹種	高 (m)	径 (cm)	年輪数	
No. 1	ダケカンバ	9.5	9.9	37	No. 6	ダケカンバ	7.0	8.0	24	
	"	5.0	4.0	32		"	埋没幹折枯死			21
	"	5.0	5.4	26		"	"			19
	ミヤマハンノキ	5.0	8.0	26		"	"			17
	"	4.0	3.7	18		"	"			17
	"	萌	芽	5	"	"			14	
No. 2	ダケカンバ	侵入		4	"	"			14	
No. 3	ダケカンバ	—		20	No. 7	ダケカンバ	3.8	1.35	26	
No. 4	ダケカンバ	1.0	6.5	18		パッコヤナギ	1.35	1.9	6	
	"	0.6	2.0	10		ダケカンバ	萌	芽	5	
	"	萌	芽	8		"	"			5
	"	"	"	8		"	"			5
	"	"	"	5	"	"			4	
	"	"	"	5	"	"			4	
	"	"	"	5	"	"			4	
	"	"	"	5	"	侵入			4	
	"	"	"	5	No. 8	ダケカンバ	—	2.5	14	
"	"	"	5	"		1.8	1.5	5		
"	"	"	5	パッコヤナギ		1.6	2.3	5		
"	"	"	5	"		1.1	—	5		
"	"	"	4	"		3.9	—	5		
"	"	"	4	ナナカマド		2.0	1.7	5		
"	"	"	4	イソツツジ		0.2	0.7	5		
"	"	"	4	ダケカンバ		0.9	1.1	4		
"	"	"	4	"		—	—	3		
No. 5	ダケカンバ	—	—	15	"	—	—	3		
	"	—	—	14	"	—	—	3		
	エゾマツ	0.14	0.9	13	"	0.35	0.8	3		
	ダケカンバ	—	—	12	"	—	—	3		
	トドマツ	0.14	0.9	12	"	—	—	3		
	ダケカンバ	萌	芽	6	"	—	—	3		
	パッコヤナギ	0.6	1.0	6	"	—	—	3		
	ダケカンバ	—	—	5						
	"	—	—	5						
	"	—	—	5						
	"	—	—	5						
	"	萌	芽	5						
	"	"	"	5						
	"	"	"	5						
	ハイマツ	0.15	0.7	5						
ダケカンバ	萌	芽	4							
"	"	"	3							

表-7のフラノ川においては、No. 1が5と18~37, No. 4では4・5と8~10と18, No. 5では3~6と12~15, No. 6では14~24, No. 7では4~6と26, というように、各溪床堆積地はかならずしも同齡ではないが、樹齡階のグループとしてみることができる。これは、前表-6においても同様であり、同齡林ではなくとも、樹齡構成にグループがあることが、溪床堆積地の木本群落の特長としてみられる。

(3) ブウベツ川

樽前山系(図-4)のブウベツ川における溪床堆積地の木本侵入を、本流と左支流についてみると、表-8のように、本流では年輪数4・5, 4と同齡であり、左支流では年輪数5とやはり同齡林となっている。ブウベツ川においては、2段以上の段丘はみられず、移動回数が少ない。段丘の比高は0.5mと低く、泥土をかぶり、流水沿いに不定根が露出した。

(4) トゥワルベツ川

三紀層地帯を流れる溪流として、八雲町ユウラップ川左支トゥワルベツ川(図-6)について調べ、表-9に溪床堆積地の木本侵入について示した。トゥワルベツ川の6支流についてみると、トッレット沢の年輪数は4~6と15, ヒラマントゥツナイ沢の本流・左第二の沢・左第一の沢はともに年輪数4~6, エカシナイ沢では6・9・14, 地藏沢では4~6と8,

表-8 ブウベツ川堆積地の木本侵入 (1968年調)

Table 8. Ages of trees on the deposits in Bubetsu River

堆積地位置	樹種	高(m)	径(cm)	年輪数
本流	ナガバヤナギ	4.0	4.0	5
	ケヤマハンノキ	4.0	5.0	4
	"	3.5	4.0	4
	"	4.0	5.0	4
	タラノキ	2.0	2.5	5
	ケヤマハンノキ	3.0	4.0	4
	"	3.0	3.0	4
	"	2.0	3.0	4
	"	不定根		4
	"	アズキナシ	"	4
"	"	"	4	
左支流	ナガバヤナギ	2.5	3.5	5
	"	2.5	2.5	5
	ミヤマハンノキ	3.0	4.0	5
	"	3.0	3.5	5
	タラノキ	2.0	3.0	5

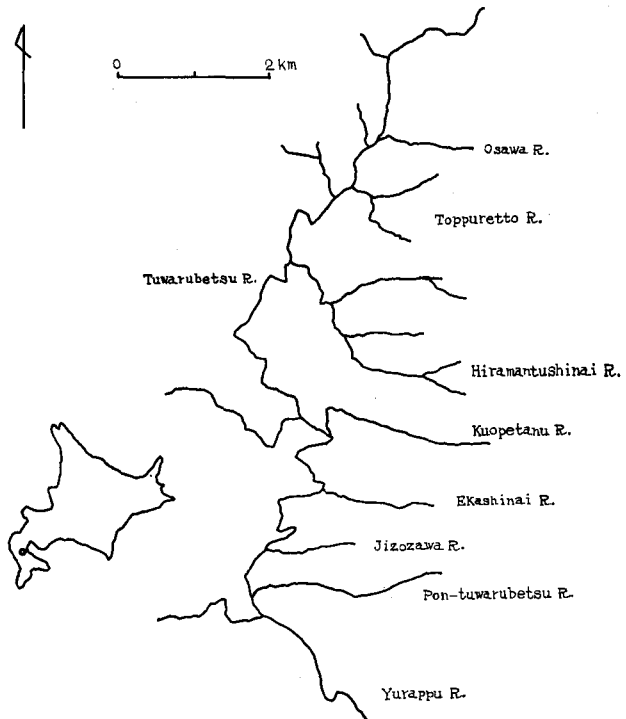


図-6 トゥワルベツ川

Fig. 6. Tuwarubetsu River Basin.

表-9 トゥワルベツ川堆積地の木本侵入 (1968年調)

Table 9. Ages of trees on the deposits in Tuwarubetsu River

堆積地位置		樹種	高 (m)	径 (cm)	年輪数
本流		ナガバヤナギ	5.0	10.0	10
		"	6.0	11.0	9
		"	4.0	6.0	9
		ケヤマハンノキ	6.0	9.0	9
		シラカンバ	2.5	5.0	8
大沢		ナガバヤナギ	4.0	6.0	13
		"	3.0	4.0	4
トップレット沢		ナガバヤナギ	2.0	3.0	5
		"	4.0	4.5	5
		"	4.0	4.5	6
		"	4.0	4.5	6
		"	4.0	4.5	5
		"	4.0	4.5	5
		ケヤマハンノキ	3.0	5.0	5
		"	3.0	4.0	4
ヒラマントウシナイ沢	本流	ケヤマハンノキ	6.0	5.5	6
		"	5.0	5.0	4
		ナガバヤナギ	3.0	4.0	4
		ケヤマハンノキ	10.0	15.0	15
		"	3.0	4.5	5
	左第二の沢	ケヤマハンノキ	2.5	3.0	5
		"	2.5	3.0	5
		"	2.5	3.0	5
	左第一の沢	ケヤマハンノキ	2.5	4.5	5
		"	2.5	4.0	5
		"	3.0	4.5	5
		"	2.5	4.5	5
"		2.5	4.5	5	
"		2.5	4.0	4	
エカシナイ沢		ナガバヤナギ	不定	根	6
		"	"	"	6
		"	3.0	6.0	9
		ケヤマハンノキ	4.0	8.0	9
		ナガバヤナギ	2.5	3.0	6
		ケヤマハンノキ	5.0	5.5	8
		ナガバヤナギ	3.0	4.0	6
		ケヤマハンノキ	7.0	10.0	9
		"	5.0	5.5	8
		"	5.0	6.0	8
		イタヤカエデ	4.0	8.0	14
	"	3.5	7.0	14	
	シラカンバ	1.5	2.5	5	
地藏沢		ナガバヤナギ	3.0	4.0	6
		"	4.0	4.0	5
		"	4.0	5.0	6
		ケヤマハンノキ	4.0	4.0	4
		"	5.0	6.0	6
		ナガバヤナギ	5.0	5.5	8
		"	2.0	2.0	6
ポントウワルベツ川		ケヤマハンノキ	6.0	12.0	8
		"	4.0	4.0	4
		"	3.0	5.0	4

ポントゥワルベツ川では4, というように, 各溪床堆積地の木本群落が同齡林をなしているばかりではなく, 流域全体としてみた場合にも各支流の相違は若干みとめられるが, 大きな差異はみられない。

3. 階段状林分

溪床堆積地が2段以上の段丘地形を示している場合には, 溪床堆積地の林分の樹齡区分が段丘区分と一致していることについては前述したが, さらにこの区分が樹高区分とも一致しており, 可視的にも判別される。表-10に段丘の形状・区分と樹高と樹齡をヌッカクシフラノ川

表-10 段丘と階段状林分 (ヌッカクシフラノ川)
Table 10. Terrace deposits and stepped forests in Nukkakushi-furano River

No.	段丘堆積地			比 高 (m)				樹 高 (m)				年 輪 数			
	長 (m)	幅 (m)	段数	I	II	III	IV	I	II	III	IV	I	II	III	IV
1	60	16	2	5	10										
2	70	10	2	2	5				0.5				20		
3	60	10	2	2	4			1	3			8	25		
4	70	15	3	1	2	3		0.5	2	4		4	9	20	
5	30	11	1	3											
6	50	9	3	1	2	4		2	3	4		8	13	25	
7	60	30	3	1	2	4		3	5	14		20	38	(100)	
8	100	33	4	1	2	4	5		2	4	10 (16)		9	25	50 (100)
9	30	10	1	2				3				20			
10	30	10	1	2				4				30			
11	80	17	2	1	3				2				10		
12	10	7	1	2	3			1	3			15	20		
13	50	9	2	1	2			2	4			20	30		
14	110	25	2	1	2			3	4			14	19		
15	90	25	2	1	3				4				17		
16	120	9	2	2	3			5	7			30	43		
17	90	30	1	2				4				19			
18	70	20	1	2				4				20			
19	20	4	1	1				3				14			
20	80	10	1	2				3				14			
21	50	11	2	1	2			3				10			
22	80	10	3	1	2	3		0.02	4	5		*	20	25	
23	100	5	2	1	2			0.02	3			*	16		
24	80	14	3	1	2	3		3	4	5		9	15	25	
25	100	10	1	2				16				(100)			
26	200	10	2	1	3			0.02	0.8			*	4		
27	120	7	2	1	2			0.02	5			*	15		
28	50	10	1	2				7				40			
29	90	18	1	2				5				30			
30	100	10	1	2				4				14			
31	100	15	1	3				3				8			

(100): 推定年輪数 * : 当年生稚樹

について示した。段丘が4段となっている溪床堆積地 No. 8 についてみると、最下部の段丘 I には木本はないが、段丘 II はダケカンバが主で樹高 2 m・年輪数 9, 段丘 III は樹高 4 m・年輪数 25, 段丘 IV は樹高 10 m・年輪数 50, というように段丘の比高区分が樹高の区分と一致し、さらに段丘区分が樹齢区分と一致している。すなわち、段丘面の高いものほどその段丘面上の樹木は老齢であり、低いものほど幼齢であり、さらに可視的に判別される樹高についても、低い段丘面の樹高は低く、高い段丘面ほど樹高も高い。

一般に林型を表示する場合には、樹高・樹径・林冠等によって区分されている^{109,139)}が、溪床堆積地と同上の林分を横断的にみれば、図-7のように、樹齢はもちろん樹高についても階段状を呈していることから、ここではこれを“階段状林分”と名付けた。井上・谷口⁴¹⁾が行なった河岸林の樹齢分布、すなわち水流に近い低い段のものほど幼齢であり水流から離れるにしたがい老齢になる、という河岸林の特長、または栗田⁷⁰⁾が洪水と植物群落との関連で調査した砂州の変化と階段状のヤナギ群落の特長等とも同様のものと考えられる。

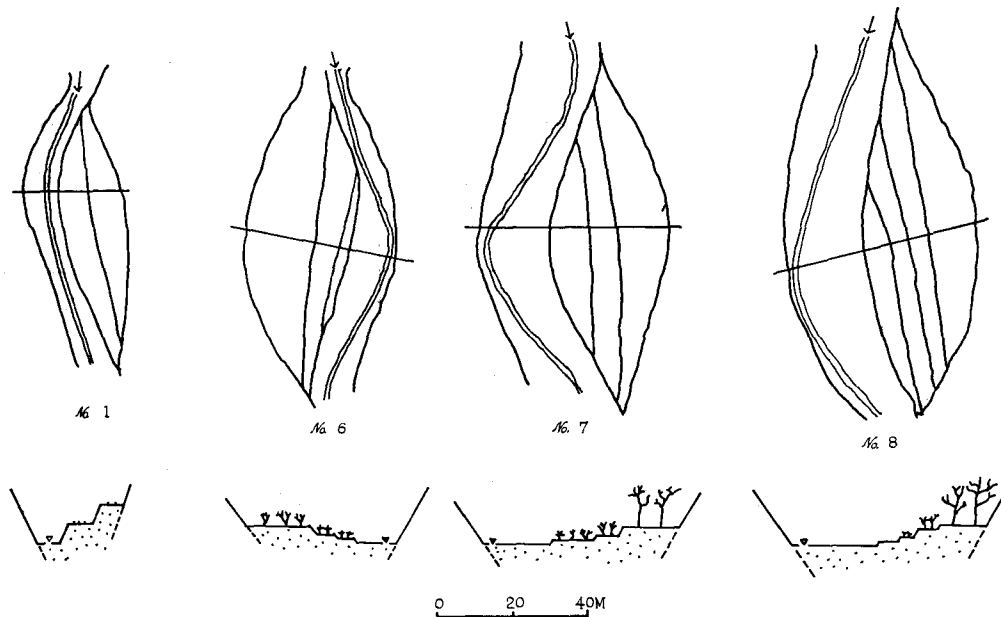


図-7 段丘堆積地と階段状林分 (ヌッカクシフラノ川)

Fig. 7. Terrace deposits and stepped forests in Nukkakushi-furano River.

溪床堆積地の安定期間中にも中小洪水はあり、段丘が1段の場合であっても、土石の氾濫、流水の氾濫によって溪床堆積地の表面に泥砂をかぶり、泥砂をかぶったカ所のみ、下層に新しく稚樹が発生していることは、0.5 m 内外の比高の低い段丘面においてしばしば観察される。したがって、これら階段状林分を微細に区分してみれば、二層林または多層林となっていることがある。

以上のように、溪床堆積地に生育している樹木の樹齢構成は、溪床堆積地の地形・形状に密接な関連を有しており、溪床堆積地の形成・変形をもたらす土石移動現象に影響されているものと考えられる。

III. 天然生同齡林分

1. 崩壊裸地の木本群落

(1) トゥワルベツ川左岸

図-6 のユウラップ川左支トゥワルベツ川左小支ヒラマントゥシナイ沢左岸に、約0.7 haの板状型はく落崩壊地がある。崩壊裸地には、7 m×8 mの団地状ケヤマハンノキの群落と、10 m×4 mのノリウツギの群落が観察された。表-11 にこれらの年輪数を示したが、No. 1 のケヤマハンノキは年輪数7、No. 2 のノリウツギも年輪数7というように、同齡林分をなし、同時侵入がな行われたものと考えられる。

(2) 問寒別川左岸

天塩川右支問寒別川右小支清川一の沢左岸に、長さ100 m×幅200 mの板状型はく落崩壊地があり、この崩壊裸地に、ミヤマハンノキ・バッコヤナギ・ダケカンバ・ノリウツギ・タラノキ等の群落を観察された。表-12 に侵入木本の年輪数を示したが、No. 1 の板状体周沿には年輪数が5~7であり、No. 2 の崩壊裸地にはやはり年輪数が5~7となっており、ほぼ同齡林分をなしている。また崩壊地より100 m下流の溪床堆積地には年輪数のタラノキが侵入しており崩壊地のものと一致している。

表-11 崩壊地の木本侵入(トゥワルベツ川左岸, 1968年調)

Table 11. Ages of trees on the ruptured surface of landslide

調査区	樹種	高(m)	径(cm)	年輪数
No. 1	ケヤマハンノキ	4.0	6.0	7
	"	4.0	6.0	7
	"	5.0	6.5	7
No. 2	ノリウツギ	1.0	3.0	7
	"	1.0	2.0	7

表-12 崩壊地の木本侵入(問寒別川右岸, 1968年調)

Table 12. Ages of trees on the ruptured surface of landslide

調査区	樹種	高(m)	径(cm)	年輪数
No. 1 (板状体周沿)	ミヤマハンノキ	2.0	3.5	5
	"	2.0	3.0	5
	"	2.0	3.5	6
	"	2.5	4.0	7
	バッコヤナギ	2.0	2.5	5
	"	2.0	3.0	7
No. 2 (崩壊裸地)	ダケカンバ	1.5	3.0	6
	ミズナラ	1.0	2.5	5
	ダケカンバ	1.0	3.0	5
	ホウノキ	1.0	3.5	7
	ノリウツギ	1.0	2.5	5
	タラノキ	1.0	3.0	5
	ダケカンバ	2.0	4.0	7
バッコヤナギ	2.5	2.0	7	
100 m下流 溪床堆積地	タラノキ	2.0	3.5	7
	"	2.0	3.5	7

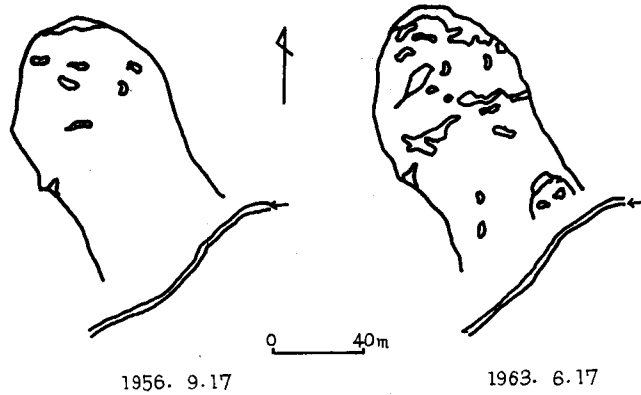


図-8 当別川青山奥二番川地すべり地の亀裂の拡大
 Fig. 8. Progressive cracks of the Nibankawa Landslide Area.

(3) 当別川青山奥二番川地すべり地

地すべり地は、過去の移動のくりかえしによる移動痕跡を、数多く山腹斜面に残存させている崩壊地である。滑落崖・側壁は大規模な移動痕跡であるが、さらに大小無数の亀裂が地すべり地塊内に存在している。過去の部分的な移動のくりかえしにより、地形的には波状地形とよばれる、地すべり地形の特長があらわれる。地すべり運動によって形成される亀裂は、一般崩壊地・床床堆積地と同様の裸地であり、そこに新しい木本群落が出現する。

石狩川水系当別川青山奥二番川地すべり地の木本侵入の実態について調べた。図-8は、地すべり地の亀裂の拡大を、1956年と1963年に撮影された航空写真から写したものである。この7年間に、地すべり運動による亀裂の拡大が認められた。この亀裂に侵入している木本について調べた(図-9、表-13)。調査区No. 1は年輪数が5・6、No. 7は16~19、No. 9は20~22、No. 13は5・6というように、同齡林分が存在している。No. 3

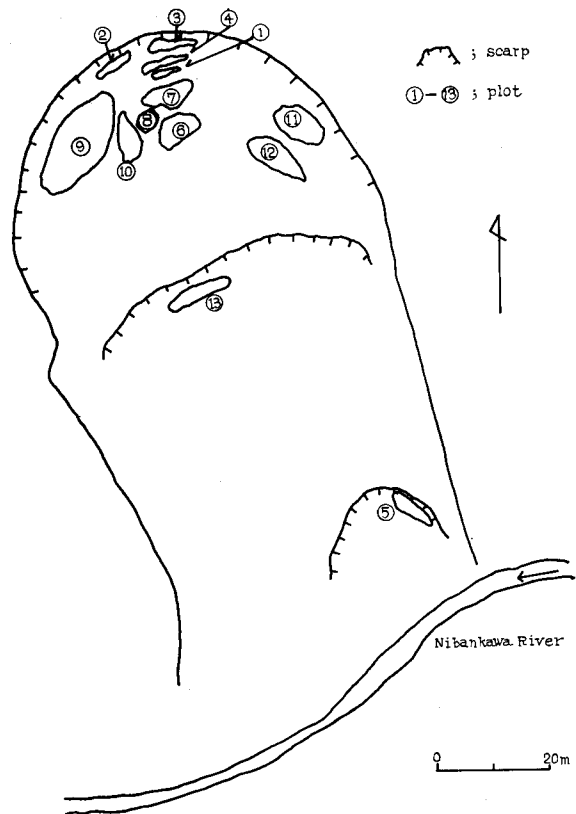


図-9 地すべり地滑落面木本侵入調査カ所
 Fig. 9. Sampling plots on the Nibankawa Landslide Area.

は年輪数6と9~11の二つの階層, No. 6は年輪数15~17と21の二つの階層に分けられ, 年齢構成にグループがみられる。No. 13は図-9のように中央亀裂に侵入しているトドマツの稚樹であるが, 年輪数5・6と同齢を示している。また最下部のNo. 5には, 木本は侵入していな

表-13 当別青山奥二番川地すべり地の木本侵入(1968年調)

Table 13. Ages of trees in the cracks of Nibankawa Landslide

調査区	樹種	高(m)	径(cm)	年輪数	調査区	樹種	高(m)	径(cm)	年輪数	
No. 1	マカンバ	1.1	2.1	5	No. 7	ダケカンバ	—	8	19	
	"	0.65	1.5	5		"	—	8	18	
	ミズナラ	0.8	1.4	6		"	—	5	18	
	"	0.5	1.3	5		"	—	7	19	
	"	0.9	1.1	6		"	—	8	18	
	トドマツ	—	—	6		"	—	10	19	
	その他	マカンバ 6本 ウルシ 3本				"	—	5.5	18	
No. 2	キハダ	0.3	0.9	6	"	—	5	17		
	タラノキ	0.15	1.2	2	ミズナラ	—	7	18		
	ミズナラ	0.15	0.9	4	No. 8	ミズナラ	—	6	12	
	(その他 マカンバ, ササ)					"	—	9	12	
				"		—	5	17		
No. 3	ハウチワカエデ	1.9	2.3	11	ホウノキ	—	6	10		
	"	1.7	1.6	11	No. 9	ダケカンバ	8	5	22	
	"	1.2	1.3	9		"	8	4	20	
	マカンバ	1.8	3.0	6		"	6	5.5	20	
	"	1.1	1.5	6		イタヤカエデ	4	5	22	
	イタヤカエデ	1.1	1.2	9	No. 10	ダケカンバ	5	6.5	23	
	キハダ	2.0	3.1	10		"	8	8	27	
ミズキ	1.7	2.4	6	No. 11	ダケカンバ	6	6	18		
No. 4	トドマツ	1.7	3.0		18	"	6	7	14	
No. 5	エゾニウ, ウド, 木本なし					ミズナラ	4	4	12	
No. 6	ダケカンバ	伐根のため, 測定不能	8.0	21	No. 12	トドマツ	5	6	19	
	"		6.0	21		ダケカンバ	4	5	10	
	"		6.5	17		マカンバ	4	4	6	
	"		8.0	17	No. 13	トドマツ	—	—	5	
	"		8.0	17		"	—	—	6	
	"		—	8.0		17	"	—	—	5
	"		—	10.0		16	"	—	—	5
	"		—	11.0		21				
	"		—	5.0	16					
"	—	12.0	—							
"	—	5.5	15							

かった。No. 11 では年齢数がばらついているが、これは上部からの板状体落下物が含まれているためと思われる。

2. 木本侵入の条件

天然生同齢林分は、火山爆発・洪水・土石流(泥流)・山腹崩壊等の自然条件、開墾・放牧・火入れ(山火)・森林伐採等の人為条件により、地表面が裸地化することによって形成される。火山爆発については、樽前山・盤梯山・吾妻山・安達太郎山・有珠山・十勝岳・岩手山・蔵王山・三原山等の、火山の山体破壊作用と植物群落の再生について、吉井¹⁵⁹⁾の一連の研究がある。山腹崩壊については、館脇・伊藤・遠山¹³⁸⁾が富士山・男体山におけるカラマツ林は、山体の破壊によるものであるとし、その要因としては、火山活動・侵食(洪水)・山崩れ・なだれ・山火・放牧・開墾等をあげ、これらの条件によって、天然生一斉林が形成されると考察している。岩田⁴⁶⁾は傾斜地の植物群落を調査し、とくに山崩れや板状はく落型崩壊または流水の侵食作用による傾斜裸地に、新しい群落の再生する過程を考察し、土砂の移動の停止すなわち土砂の堆積が、新植物群落侵入の条件であるとしている。

竹内¹³¹⁾は、樽前山空沢において、火山活動や侵食作用によってもたらされる地形変化が、植物景観に変化をあたえており、これは地表が裸出したことに由来するものであるとし、沢における泥流堆積原の形成によって旧森林帯が破壊され、広葉樹林が形成されること、また谷の上流では幼稚型であるが、下流になるにしたがい、安定化してゆくことを観察している。また、坂井¹¹⁵⁾は、樽前山エゾマツ林は樽前火山噴火による降灰土の二次的な流下土砂の堆積によるものである、と考察している。

洪水と植物群落との関係については、猶原^{98~100)}の阿武隈川・荒川・相模川・富士川・安倍川・大井川・天竜川等における一連の研究があり、洪水による群落変化を調べ、河原の砂州を不安定帯・中間帯・安定帯の三つの区分を行なった。香川⁴⁹⁾も、洪水によって変化を受ける砂州・中州において、アカマツ群落の生成過程を研究している。

土石移動によって溪床堆積土石が溪床堆積地を形成し安定化すれば、溪床堆積地上に新しい群落が形成される。火山活動・崩壊によるものと同様に、洪水や土石移動によっても溪床内に周囲植生とは異なった、河岸林・溪畔林とよばれる特長ある林分が形成され、しばしば部分的な天然生一斉林や同齢林が形成される。SCHMITHÜSEN¹¹⁸⁾は、河岸林は河川における洪水の期間・頻度・規則性および時期を示す植生段階であるとし、この特長に、Überschwemmungsreihe(冠水系列)という語をあたえている。井上・谷口⁴¹⁾は石狩川源流の河岸林を調査し、河岸林の年齢構成が、流路に傾斜した階段状に分布していることを観察し、その成因は河川の蛇行によるものと考察している。松井・毛利・佐々木⁷⁹⁾は弟子屈地方釧路川の三角州にドロノキ・ヤナギ林の河畔林が、31年生の同齢林を示していることに着目している。東²⁹⁾も、常呂川流域内の溪床堆積地に同齢林が形成されていることを調べている。

3. 木本侵入の時期

木本侵入について最も報告の多い、火山爆発による泥流跡地の植生調査では、吉井¹⁴²⁾によれば、盤梯山・吾妻山では10数年、松井⁷⁸⁾の調査した駒ヶ岳では、爆発による残存区域では1~3年、全滅区域では4~7年、また後藤²²⁾の調査した十勝岳爆発^{133,144)}後の泥流跡地では3~5年の、地表裸地化後に木本侵入を許すだけの風化に要する期間があるが、掃蕩作用を受けず林地内に泥土を堆積させ、地表植物を枯死させたようなカ所では、翌年ただちにトドマツ・エゾマツが侵入していることを報告している。坂井¹¹⁵⁾は、火山性山地では酸性土のため、酸性減退にある期間を必要とし、「アクヌケ」期間を経なければ侵入しないのではないかと考察している。また、一般河川においては、平尾²⁹⁾は洪水と植生について論じ、洪水後2年目にドロノキ・ヤナギ類の稚樹発生を確認している。火山爆発泥流という特殊な裸地化を除き、他の成因による裸地形成の場合には、木本侵入は比較的すみやかに行なわれると考えられる。裸地形成時期と木本侵入時期を照合するには、裸地形成時期の明確なカ所で、しかも火山爆発泥流によらないカ所での、木本侵入の実態をみななければならない。

(1) 道路開設による木本侵入

上富良野町道・十勝岳—上富良野線において、人為的裸地形成の一例として、道路開設による捨土への木本侵入について調査した(表-14)。町道開設年月は1961年8月であり、道路沿線の捨土に、ミヤマハンノキの一斉同齡林が带状に形成されている。年輪数が5(6年生)であることは、調査年よりも6年前に種子が散布されたものである。ここでは、1962年の秋に種子が落下したもので、道路開設年すなわち裸地形成時期より1年遅れて侵入している。

表-14 道路開設による林分形成(1968年調)

Table 14. Ages of trees upon excavated soil by construction of the road

調査区 1	樹種	高 (m)	径 (cm)	年輪数	調査区 2	樹種	高 (m)	径 (cm)	年輪数
altitude 720 m 5 m×2 m	ミヤマハンノキ	3	3.5	5	altitude 580 m 5 m×2 m	ミヤマハンノキ	4.5	6	5
	"	3	3.5	5		"	5	6	5
	"	3	3.5	5		"	3.5	4.5	5
	"	2	2	5		"	3	4	4
	"	2	2	5					

上富良野町道：十勝岳—上フラノ線

(2) 樽前川上流溪床堆積地

溪床堆積地における同齡林分形成の実例として、樽前川上流における土石移動によって形成された溪床堆積地について調べた(図-10, 表-15)。樽前川の土石移動は、1961年、1962年の夏季に行なわれた。とくに1962年8月の集中豪雨では339 mmの日降雨量が記録され、周辺各地に土石移動が大規模に発生した。1962年の土石移動によって形成されたこの溪床堆積地は、

表-15 樽前川上流堆積地の木本侵入 (1968年調)

Table 15. Ages of trees on the deposits in Tarumae River

堆積地	樹種	高 (m)	径 (cm)	年輪数	堆積地	樹種	高 (m)	径 (cm)	年輪数
No. 1	ケヤマハンノキ	0.7	1.2	4	No. 3	ケヤマハンノキ	1.4	2.0	4
	"	0.7	1.5	3		"	3.0	3.2	3
	"	0.6	1.0	4		"	2.5	3.0	4
	"	1.8	2.3	3		"	2.0	1.4	3
	"	1.8	2.0	3		"	1.7	2.0	4
	ナガバヤナギ	1.5	1.4	4		"	2.2	1.5	4
	"	1.8	2.3	3		ナガバヤナギ	1.8	2.2	3
	"	1.5	1.7	3		"	2.5	1.8	4
	"	1.7	1.7	3		"	1.5	1.5	4
	"	1.8	1.5	3		"	0.8	1.1	2
	ホウノキ	萌	芽	3	"	2.4	2.9	4	
No. 2	ケヤマハンノキ	4.0	4.0	4	No. 4	ケヤマハンノキ	1.0	2.0	4
	"	2.5	3.0	4		"	1.7	2.5	4
	"	4.0	4.0	4		ナガバヤナギ	1.7	2.0	4
	"	1.6	1.9	4		"	0.8	1.2	3
	"	1.8	2.3	4		"	1.6	1.6	4
	"	2.2	2.6	4					
	ナガバヤナギ	1.7	1.6	4					
	"	1.8	2.3	4					
	"	1.7	1.9	4					
	"	1.7	1.6	4					

図-10のように、流水の影響によって No. 1~No. 4 の4カ所に区分されている。各調査区とも、ケヤマハンノキとナガバヤナギの年輪数4 (5年生) の同齡林分であり、4~8本/m²と密生している。種子散布は、1968年より5年前すなわち1963年と逆算されるが、土石移動による裸地形成時期よりも1年遅れて木本が侵入したことになる。

(3) 季節

北海道では、7~8月の夏季に土石移動が多く行なわれているが、4~5月の融雪期における土石移動について

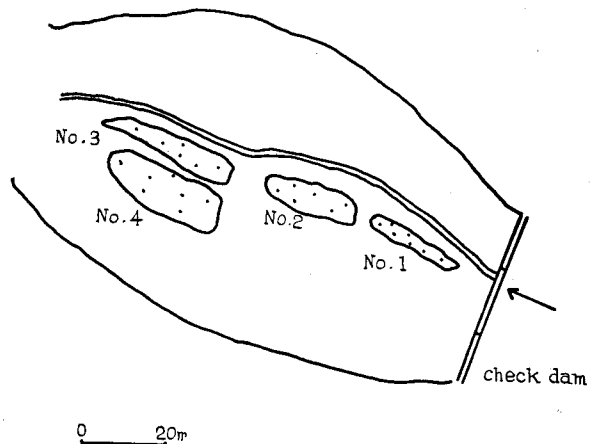


図-10 樽前川ハンノキ-ナギ堆積地
Fig. 10. Sampling plots on the deposit area, Tarumae River.

表-16 開花期と種子成熟期

Table 16. Seasons of seed-falling of trees on the deposits

樹種名	開花期	成熟期	樹種名	開花期	成熟期
ダケカンバ	5月下~6月上	10月	トドマツ	6月	9月下~10月上
シラカンバ	5月下~6月上	10月	エゾマツ	5月下	9月下
ウダイカンバ	5月下~6月上	10月	アカエゾマツ	5月下~6月上	9月~10月
ミヤマハンノキ	5月	8月~9月	ハイマツ	6月	翌年10月
ケヤマハンノキ	3月	8月~9月	ハウノキ	6月	8月
ドロノキ	5月	6月	カツラ	5月	8月
ナガバヤナギ	4月	5月	アオダモ	5月下~6月上	9月
パッコヤナギ	4月	5月	ハルニレ	4月下	5月下
イヌコリヤナギ	4月	5月	ミネカエデ	6月~7月	10月

も考えなければならない。樹木年輪数と裸地化年代を照合する場合には、樹種によって1年のずれを生じることが考えられる。表-16に、溪床堆積地・崩壊地に侵入していた木本の種子成熟期¹²²⁾を示したが、ヤナギ類とハルニレは春季に種子を散布し、他は秋に散布している。裸地形成が春季または夏季のどちらにしても、ヤナギ類・ハルニレ以外の樹種は、種子は翌年発芽する。一方、ヤナギ類・ハルニレは、春季に裸地が形成された場合は、その年内に発芽し他の樹種より年輪数が1年多くなる。夏季以後に裸地化した場合には、すべてが翌年発芽するので同一樹齢となる。したがって、表-15のケヤマハンノキとナガバヤナギが同齢であることは、裸地化が夏季以後のものであると考えられる。樹木年輪数の判読には、髓付近の年輪が可視的に不明確な場合や、伐採高の位置によっても、1年の誤差が含まれており、とくに幼齢木の場合には可視的判読が困難なこともあり、正確に年単位による木本侵入年と現実の裸地化年との照合は難かしい。

(4) 安定期間

天然生同齢林分の存在は、過去に一時的に地表が裸地化したことによって木本侵入が行なわれたことを意味しているだけでなく、侵入以後、樹木生育期間すなわち樹齢年代の間には、その林分を破壊するような大変化がなかったことを意味し、樹木年輪数は、その林分の安定期間であると考えられる。

溪床堆積地には木本だけでなく草本植物も侵入するはずであるが、場所により木本の優勢なカ所と草本の優勢なカ所がある。ヤナギ・ハンノキ類の木本は初期生長が著しく、3~4年で2~4mの上長生長を行なうので、侵入後数年の安定期間があればうすい泥土のかぶりや冠水・越水に耐えることができる。草本の場合は、ある程度安定期間を経た溪床堆積地に侵入しても、泥土のかぶり・冠水のため定着することができないと考えられる。ヤナギ・ハンノキ類は、移動土石に埋没されても、不定根を出しながら生長することができ、東²⁸⁾は耐埋没性樹種とよんでいる。下流河川の砂州への侵入は、草本が優勢である^{98,99)}が、これは、たとえ木本と

草本が同時侵入したとしても、毎年冠水するような不安定帯であれば、木本の種子は毎年流去され、生存は困難であり、一方、地下茎繁殖による草本や被砂抵抗の強い草本は生存することができ^{70,101)}、草本群落を形成してしまうものと考えられる。安定期間が短かく、毎年土石が移動している地帯では、裸地だけがあり草本も木本も侵入しえない。このように、木本群落の存在は、そこに木本が侵入し、生存しうるだけの安定期間があったことを意味している。

4. 時間的情報としての樹木年輪

樹木を指標として環境を測定しようとする考え方は、植物生態学の中では、指標植物としてあつかわれている^{27,56,132)}。すなわち、地表の変化によって植物群落が遷移するのであるから、逆に植物群落から過去の地表の変化を知ることができ、樹木年輪を利用すれば、その変化の年代を知ることができ、樹木の指標植物としての重要さが認められる。樹木年輪数を時間的情報として利用することは、過去にも経験的に行なわれているもので、樹木の存在が樹木年輪数以内の過去の安定期間を示す指標としても用いられている。渡辺¹⁴⁶⁾は十勝岳火山活動について、トドマツの年輪数から過去の活動状況を知ろうとしている。気候変動の歴史を探る上で樹木年輪数は利用され、真鍋ら⁷⁷⁾は屋久杉の年輪から古代気象の変化や台風の変遷について論じており、また太陽活動、太陽黒点の変動と年輪幅の変化が一致しているともいわれている¹⁴⁶⁾。樹木年輪数を時間的情報として、地表変化について論じているものとしては、東^{26,27)}の研究があり、とくに「地すべり運動とアテの研究」にみられるように、アテの形成年代から地すべり運動の履歴を追求している。崩壊地の発生年代を知る方法として、大石・榎本¹⁰³⁾は崩壊裸地に侵入している樹木の年輪数を一つの尺度として利用できるとしている。また、土石流のような、溪床堆積土石の移動については、新沢^{94,95)}が、土石円錐と段丘砂礫州の形成過程をみるときに、樹木年輪数が利用できることを述べている。町田⁷³⁾は常願寺川の段丘形成について、段丘上の樹木年輪数と災害の記録とを照合している。

地表変化を時間的にとらえるには二つの場合があり、一つは過去の時間的変化をみようとする場合、他の一つは現在以後の変化をみようとする場合である。後者は、砂防調査に用いられるもので、実地測量による河床の縦横断変化の観測、地すべり地における計測機器による微小移動観測等がある。前者の場合は、古文書や現地住民の言い伝えによる災害記録の収集、地質学・地形学等で行なわれている形態学的方法と災害記録との照合による方法、または、絶対年代を直接知る方法としては、 C^{14} ²⁵⁾や花粉析⁸⁸⁾による古生物の生物遺体からその年代を推定する方法があり、さらに樹木年輪数による方法 (Dendrochronology)²⁵⁾も行なわれている。 C^{14} の方法では、2,000年から20,000年の間の年代を推定し、花粉分析も 10^2 年以上のものであり、これらは $10^2 \sim 10^4$ 年という時間スケールの大きな変化を知れるのみである。一方、樹木年輪は1年単位の時間を示し 10^2 年以内の時間スケールであり、50~100年を対象とする砂防工学において、有効な時間スケールの指標となりうるものと考えられる。

溪床堆積地における天然生同齡林分・階段状林分、崩壊地における団地状同齡林分等の形

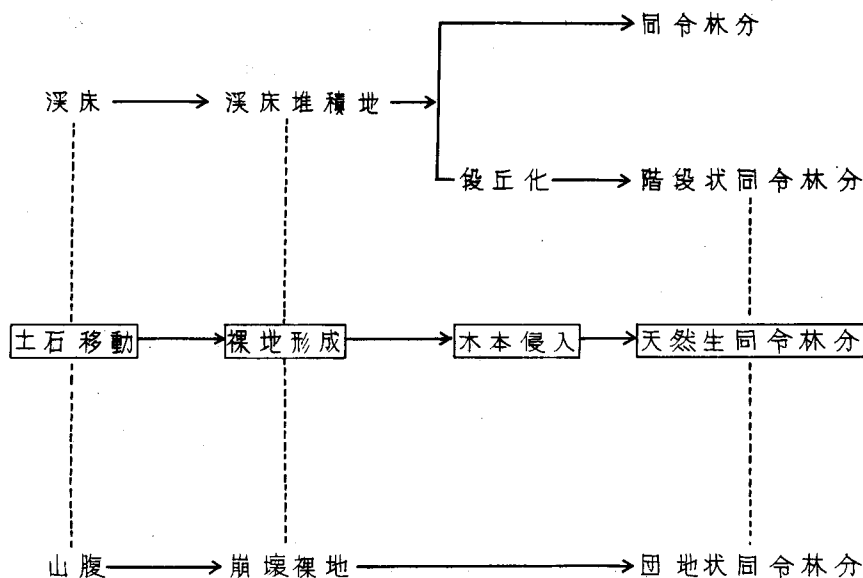


図-11 土石移動による天然生同齡林分の形成

Fig. 11. Bed load movement yields natural even-aged forest.

成は、渓床における洪水流、土石流、山腹における崩壊、等のような土石移動現象によって新生裸地が出現し、一斉に種子が落下・着生したためと考えられる(図-11)。渓床堆積地の段丘化と階段状林分について記せば、段丘は土石移動年代の相対的時間を示すものであり、さらに段丘区分と樹齡区分とが一致していることは、樹木年輪数が絶対年代を示しているものと推論され、これらの同齡林分の樹木年輪数が、過去の土石移動の時間的情報を示す重要な指標であると考えられる。また、道路開設による裸地化年代と侵入木本の樹齡、土石移動による裸地化年代と侵入木本の樹齡などがほぼ一致したことから、土石移動の年代を推定する方法として、樹木年輪数が利用できるものと考えた。自然条件によって形成される新生裸地、たとえば崩壊地(地すべり地)、渓床堆積地に侵入している木本群落、とくに天然生同齡林分の樹木年輪数が、裸地の形成年代すなわち土石移動年代を推定する手段として利用でき、1~2年程度の誤差以内で有効であろう。

同齡林分の樹木年輪数のほかにも、流水による倒木の萌芽あるいは上伸枝の年輪数、泥土をかぶったハンノキの不定根の年輪数が、侵入している他の樹木の年輪数と一致していることから、これらも土石移動の時間的情報として利用することができる。しかし、単木としての試料よりも群としての試料の方が年代推定にはより有効であり、同齡林分の意義は大きい。同齡林分の樹木年輪数を指標とするには、推定年代に限界があり、先駆侵入したハンノキ・ヤナギ類も、それらの寿命により他の樹種への交替も考えられ、同齡林形成後にも二次的に樹木は侵入するので、時間の経過とともに樹齡構成の特長が失われてゆくと考えられるので、有効年代の推定範囲はほぼ50年までと思われる。しかしこの範囲は砂防工学の現在の技術適用上の

時間スケールと一致し、しかも1年単位の時間を知ることもできるので、有効な時間的情報として採用することができる。

IV. 溪床堆積地の形成と土石移動年代

1. 溪床堆積地の形成

土石移動による河川の形態的变化は、流出土砂量と流水輸送能力との不均衡にもとづく河床変動としてあつかわれ^{13,142)}、河床変動には、流路の縦断面形状である縦断勾配の変化、流路の平面的形状としての蛇行変化、堆積土石量の変化などがあげられている。上流河川では縦断勾配の変化が問題とされているが、これは流水を対象とした場合であって、土石の特長である堆積作用から土石移動現象を解析する場合には、むしろ溪床の横断的・平面的形状が問題となる。縦断勾配は、河口から山頂までを対象とした場合には変化としてとらえられるが、上流の溪床内においては、むしろ谷幅(溪床幅)変化が大きく、縦断勾配の変化は滝・岩盤の露出にみられるにすぎない。土石移動の痕跡であり、堆積作用の結果残存している溪床堆積地は、谷の平面的形状としてあらわれる、谷幅の狭い“狭さく部”にはさまれた、谷幅の広い“拡幅部”に形成されている。図-12にヌッカクシフラノ川上流の谷幅と溪床堆積地の位置の実例を示した。狭さく部は土石が流過するのみで、溪床堆積地は拡幅部に形成され、ここでは前者を流過地帯、後者を堆積地帯と区分した。一般的な河川区分としては、侵食地帯・流過地帯・堆積地帯の三つに区分されている¹⁷⁾が、溪床堆積土石の移動を解析するうえでは、かならずしも適切ではない。萩原¹⁰²⁾も富士山大沢において、侵食帯と流過帯に区分しており、より適切と思われるが、実地溪流における侵食には、土石の移動・堆積のくりかえしを含んでいるので、堆積作用から土石移動を考える場合には、堆積地帯と非堆積地帯(すなわち流過地帯)の二つに区分した方がより適切と考えられる。

溪床堆積地は、土石移動の運動エネルギーの減少によって、土石のみが流水と区別され堆積・安定することによって形成される。土石を堆積させるだけの、土石移動のエネルギー変化をもたらす因子として、溪状の主要因子である溪床縦断勾配と谷幅(溪床幅)があげられる。

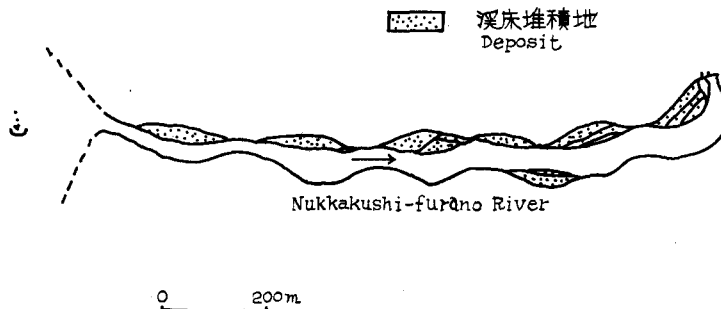


図-12 拡幅部での堆積地形成(ヌッカクシフラノ川)

Fig. 12. Deposition due to river width.

ヌッカクシフラノ川における、約5kmの区域の縦断勾配と谷幅の変化を、表-17に示した。縦断勾配は8~14%、谷幅は14~55mの範囲で変化し、勾配の変化よりも谷幅の変化が大きい。谷幅の変化を、距離を横軸とし谷幅を縦軸として表わし、これを“谷幅曲線”とした。

表-17 縦断勾配変化と谷幅変化(ヌッカクシフラノ川)
Table 17. Gradient and width of the river course in Nukkakushi-furano River

河 状	実 測 値 (200 m 間隔)							範 囲
縦断勾配 Gradient %	12	9	12	10	12	10	12	8~12
	10	10	8	12	11	9	8	
	9	10	10	9	8	9	8	
谷 幅 Width B m	16	14	15	12	30	25	40	8~60
	58	8	40	30	22	28	26	
	16	46	60	28	30	14	20	

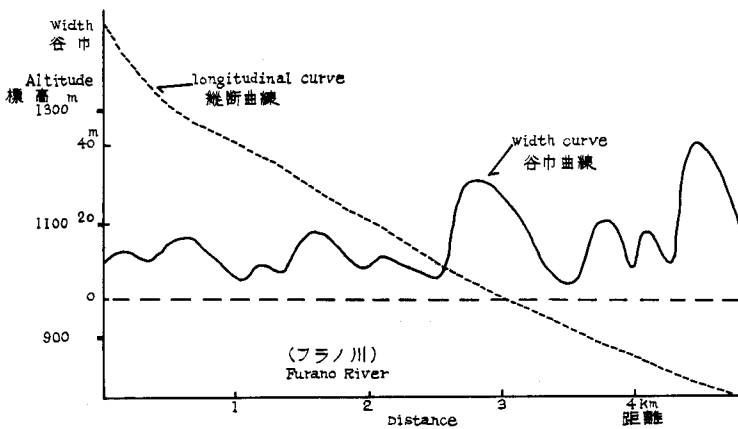
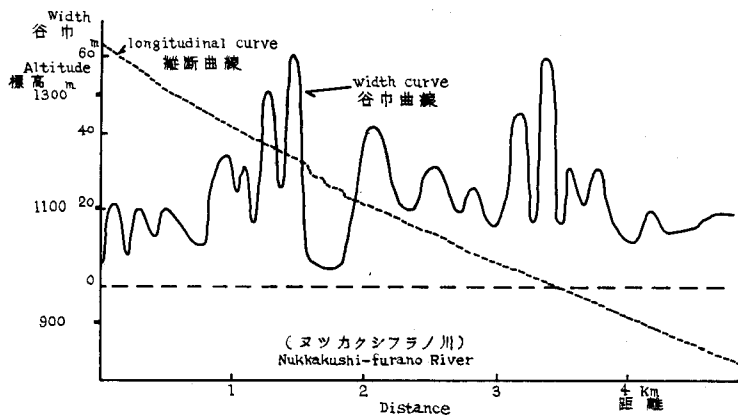


図-13 谷幅曲線の比較

Fig. 13. Illustrated variation of width curve for actual rivers.

ヌッカクシフラノ川とフラノ川の谷幅曲線を実測により描いた (図-13)。ヌッカクシフラノ川の谷幅は、8~60 m で凹凸が激しく、溪床堆積地は凸の部分に形成され、溪床堆積地数は 31 カ所である。フラノ川では、谷幅曲線の凹凸はゆるやかで、溪床堆積地数は 8 カ所である。両溪流ともに対象距離は約 5 km と同一であるが、溪床堆積地数は前者が 31 カ所、後者が 8 カ所というように、谷幅曲線の凹凸の激しさ、すなわち拡幅部の多少が溪床堆積地数に関係していることから、溪床堆積地の形成には、谷幅変化が重要な因子であると推測される。谷幅曲線が土石移動によって受ける変化の度合いについてみれば、図-14 のヌッカクシフラノ川の 1955 年および 1967 年撮影の航空写真から判読した谷幅変化から、5~10 m ほどの変化が部分的にみられるだけで、大きな変化はない。したがって、土石移動と関連して谷幅曲線があつかう場合には、現谷幅曲線にえがかれた狭さく部と拡幅部の平面的形状は、ほぼ一定のものとしてあつかい、各溪流の特有な溪状としてあつかうことができるものと思われる。

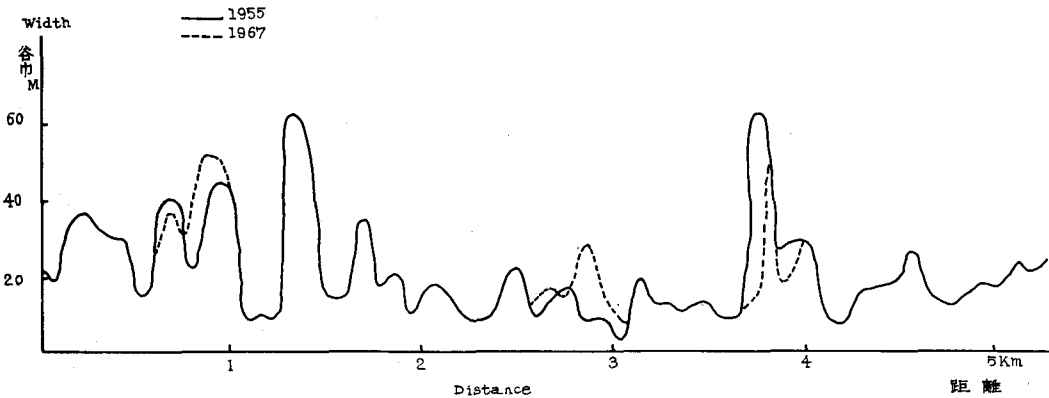


図-14 ヌッカクシフラノ川における谷幅変化

Fig. 14. Variation of the river width during 12 years.

樽前山系と十勝岳山系における 5 溪流について、溪床堆積地の出現間隔距離を調査した (表-18)。流過地帯を除いた堆積地帯のみについてみると、覚生唐沢では 0.1~0.7 km, ヌッカクシフラノ川で 0.1~0.35 km, ヌッカクシフラノ川左支流で 0.1~0.2 km, フラノ川で 0.2~0.8 km となっている。平均値として表わすと、全流域とも 0.5 km 以内となっている。この間隔距離は、各溪流個有の溪状とくに谷幅変化に影響されており、谷幅の凹凸の激しい谷幅曲線を有しているヌッカクシフラノ川では間隔距離が短かく、凹凸の少ない谷幅曲線を有しているフラノ川または覚生唐沢では間隔距離が長い。また、一定距離間に存在している溪床堆積地数を、堆積出現頻度として表わした場合も同様の傾向がみられる。

河川の平面的形状を表示するものとしては、蛇行についての曲線比長⁸⁴⁾、河幅拡大比¹⁵³⁾、立体的形状としては河床横断曲線⁵⁴⁾等について論じられているが、谷幅について論じたものは少なく、市川³⁷⁾、WOLMAN-EILER¹⁴⁹⁾、森田⁸²⁾等の報告があるにすぎない。土石移動に関する地形的要素としては、縦断勾配の変化、支谷流入による流量変化等についても考慮されねばな

表—18 堆積地出現間隔距離

Table 18. Distance between deposit and its neighboring deposit

流域	調査距離 L km	堆積地数 N	堆積出現頻度 N/L	堆積地出現間隔距離*					堆積地帯		流域	
				(km)					範囲	平均(km)	範囲	平均(km)
覚生唐沢	6.5	9	1.4	(2.5)	0.2	0.2	0.5	0.1	0.1~0.7	0.4	0.1~2.5	0.7
ンジャモナイ沢	4.0	4	1.0	(1.2)	(1.1)	0.2			0.2	0.2	0.1~1.2	0.8
スツカクシ フラノ川	5.3	31	5.9	0.3	0.1	0.25	0.15	0.2	0.1~0.35	0.2	0.1~0.5	0.2
				0.35	0.1	(0.5)	0.25	0.1				
				0.1	0.1	0.15	0.1	0.2				
				0.15	0.2	0.1	0.1	0.15				
				0.15	0.15	0.15	0.3	0.1				
スツカクシ フラノ川左支流	3.4	11	3.2	0.15	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1~0.2	0.1	0.1~1.0	0.2
				0.1	0.1	0.1	0.2	(1.0)				
フラノ川	5.2	8	1.5	0.2	0.3	0.8	0.2	0.3	0.2~0.8	0.4	0.2~1.3	0.5
				0.4	(1.3)							

*：各堆積地の中央と隣接堆積地の中央との距離

()：岩樋部の流過地帯

らないが、土石移動の痕跡としての溪床堆積地形成から推測された、谷幅変化の重要性はさらに大きく、谷幅曲線と土石堆積作用との関連については、V, VI章において実例について追求を進める。

2. 土石移動年代

溪床堆積土石の移動、すなわち土石移動の履歴を知るための有効な時間的情報として、溪床堆積地上の同齢林分の樹木年輪数をさきに(III-4)あげたが、この指標から、過去の土石移動年代を推定するには、以下の三つの条件を満足させたものでなければならないと考えた。

- 1) 溪床堆積地の形成後、すなわち土石移動による裸地形成後直ちに木本侵入が行なわれること。
- 2) 樹木の寿命が長く、侵入木本の交替が行なわれていないこと。
- 3) 前生樹を含んでいないこと

まず1)の条件については、III-3において、裸地化年代の明確な道路開設による同齢林分、土石移動による溪床堆積地の同齢林分などが、侵入年代と裸地化年代とがほぼ一致していることを示した。次に2)については、侵入本数の多い、カンバ・ハンノキ・ヤナギ類の先駆樹種の寿命から、試料採取樹齢に限界があり、約50年までとした。3)については、前生樹を含んだ場合は当然異齢林であり、年齢構成の特長あるものを試料とした。

以上の条件を満足する溪床堆積地の同齡林分等から、その樹木年輪数を判読し、土石移動年代を推定した。全試料について、実地溪流・河川における洪水記録と照合し実証することは、洪水記録が明確でなく、とくに上流河川における土石移動の記録は無いに等しいため、非常に困難である。降水記録と照合させることも考えられるが、上流河川については、山岳気象の特性や、現在の降雨観測体制の不備もあり、信頼のおけるものは少ない。たとえば、十勝岳温泉凌雲閣会田久左衛門氏の、ヌッカクシフラノ川における河床変動(土石移動)の観察記録と、周辺の降雨記録を表-19に示したが、1966年8月のもの以外は、実際の河床変動(土石移動)を引き起こしたものに対応する降雨記録はない。とくに観察地点と最も標高と距離的に近接する十勝岳(白銀荘)の記録とも対応していない。また、下流域における洪水記録⁶³⁾とその降水記録ともかならずしも対応しておらず(表-20)、上流域における土石移動年代の推定には、樹木年輪数を唯一の手がかりとして利用せざるをえないが、実際の土石移動年代との合致の検証は、現在の気象資料では難しい。したがって、溪床堆積地侵入木本の樹木年輪数から、侵入年代すなわち溪床堆積地の形成年代を推定し、この年代を土石移動(推定)年代とした。

表-19 降雨記録と河床変動(ヌッカクシフラノ川)

Table 19. Records of precipitation (mm) and bed load movement

年月日	観 測 地 点							河床変動(会田氏観察)
	十勝岳	美望ヶ原	前富良野岳	上富良野	富良野	美 瑛	旭 川	
1961. 8. 14				0	2		—	増水 3 m 河水灰色に濁る
1962. 8. 20	1				0		0	増水 6 m
1963. 8. 24	7			31	13		0	土 石 流
1965. 10. 6	—	0		1	4	2	3	湯元燕岩大崩壊
1966. 7. 17	17	17	27	0	5	0	0	土 石 流
1966. 8. 12	(26) 30	(27) 20	(16) 28	(31) 19	(15) 34	(42) 25	(30) 54	土 石 流

()内は前日降水量

表-20 洪水記録と降水記録

Table 20. Records of precipitation (mm) and floods

年月日	観 測 地 点				年月日	観 測 地 点			
	上富良野	富良野	美 瑛	旭 川		上富良野	富良野	美 瑛	旭 川
1946. 7. 22			(48) 85	(27) 64	1955. 8. 17		4	95	184
1947. 8. 15		27	117	100	1956. 4. 16		52	62	47
1954. 8. 14		22	63	85	1957. 9. 17		66	48	41
1954. 8. 19		71	63	65	1962. 8. 3	102	120	89	81
1955. 8. 10		27	46	142	1962. 8. 17	59	37	70	49

()内は前日降水量

前述 (II) の、樽前山系4溪流、十勝岳山系3溪流、ブウベツ川、トゥワルベツ川について土石移動年代を推定した。

(1) 樽前山系溪流

土石移動推定年代を表-21に示したが、覚生唐沢では、1953, 1955, 1957, 1962, 1963, 1964年、シシャモナイ沢では1953, 1961, 1962, 1964年、モラップ沢では1957, 1961, 1962年、二の沢では1964年となっている。樽前山系としてみれば、1953, 1955, 1957, 1961~1964年頃に土石移動が行なわれたものと推定される。覚生唐沢では1961年の移動が行なわれず、シシャモナイ沢では1957, 1963年の移動がなく、モラップ沢では1963年の移動がない、というように、隣接した流域においても移動年代の相違が認められる。また、溪床内には、1950年代以前の土石移動を示す痕跡がなく、1950年以前の土石移動については不明である。

表-21 樽前山系流域の土石移動推定年代

Table 21. Ages of bed load movement in the rivers, Mt. Tarumae

流 域 River	堆 積 地 Deposit No.	推 定 年 代 Age of bed load movement																	
		1960									1950								
		6	5	4	3	2	1	0	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	
覚 生 唐 沢 Oboppu-karasawa R.	1										0								
	2					0													
	3																		
	4					0							0						
	5																		
	6				0												0		
	7																		
	8																		
	9																		
シシャモナイ沢 Shishamonai R.	1			0		0										0			
	2																		
	3			0													0		
	4																		
モラップ沢 Morrappuzawa R.	1																		
	2																		
	3																		
	4																		
	5					0													
Ninosawa R. 二の沢	1															0			

(2) 十勝岳山系溪流

土石移動推定年代を表-22に示した。ヌッカクシフラノ川では、1865, 1922, 1925, 1927, 1935, 1940, 1945, 1946, 1948, 1949, 1950, 1951, 1952, 1955, 1956, 1957, 1961, 1966年、ヌッカクシフラノ川左支流では、1943, 1945, 1947, 1948, 1949, 1951, 1952, 1953, 1954, 1956, 1957, 1962年、フラノ川では、1940, 1942, 1947, 1948, 1952, 1956, 1961, 1962年の土石移動年代が推定された。十勝岳山系としてみれば、1940~1957年にわたって毎年のように土石移動がくりかえされていると考えられるが、同一年代が1カ所しかないものを除き、さらに年代をグループ分けしてみると、ヌッカクシフラノ川では1935, 1940, 1945・1946, 1950・1951, 1955~

1957, 1961, 1966年というように、少なくとも5年に1度の割合で土石移動が行なわれている。ヌッカクシラノ川左支流では、1943, 1949, 1951, 1953, 1956・1957年というように、15年間に2年に1度の割合で激しく移動が行なわれている。またフラノ川では、1940, 1942, 1948, 1952, 1961年というように、4年に1度の割合である。各流域によって年代出現に相違があり、この相違は各流域の土石移動の履歴の相違であり、各流域の土石移動に対する個性のあらわれであろうと推測される。

(3) ブウベツ川

前表-8から、ブウベツ川本流の土石移動年代は1963年、また左支流では1962年と推定されたが、全流域としてみれば1年の誤差を含めて、1962年頃に土石移動が行なわれたものと考えられる。この他の移動年代についてはこれを示す試料がなく、推定できなかった。

(4) トッワルベツ川

前表-9から推定すると、全流域として1953, 1958, 1962年頃の土石移動が認められた。各支流ごとに若干の年代差が認められたが、1962年のものが最も試料本数も多く、この時の移動の激しさを推測することができる。

V. 土石の移動形態

1. 土石移動過程の実態

土石移動年代を、溪床堆積地の木本侵入年代から、過去の土石移動の歴史としてとらえることができたが、これを単に、各堆積地という‘点’における移動年代の記録としてではなく、各点を結び水系として距離的に解析し、過去の一時点から現在の一時点にいたるまでの土石移動の変化、すなわち土石移動過程としてとらえ、その過程における土石移動の形態的特性・規則性を導き出すことができるならば、砂防工学上の意義は大きい。自然界においてくりかえして行なわれている土石移動現象には、このくりかえしの中に移動形態としての規則性が存在しているかも知れない。この規則性を明らかにするには、室内模型実験的研究ではなく、屈曲点・急遷点を多数有している実地溪流において、移動・堆積の時間的变化としての土石移動過程を解析することによって可能となり、土石災害防止を基底としている砂防工学における現実的な技術適用の場面を設定することも可能となろう。この場として、おもに樽前山系と十勝岳山系をえらび、距離的に土石の移動過程を解析した。

(1) 樽前山系溪流

前表-21から土石移動年代を、1953・1957・1962・1964年代の4つのグループに分けた。

(i) 覚生唐沢

土石移動年代を1953・1957・1962年代の3グループに分け、表-23に堆積地の位置、堆積地形成年代(すなわち土石移動年代)を示した。1953年代の移動時には中流部において、1957年代のものは上流部と中流部において、また1962年代のものは上流部から下流部まで全域にわ

表-23 覚生唐沢の土石移動過程

Table 23. Process of bed load movement in Oboppu-karasawa River

堆積地の位置			堆積地形成の年代	
標高 m	河道状況	16.	1960	1950
580		1	0	0
500	土石移動激 漕(6mh) 流過地帯	1		
420	漕(10mh)	2		
320	段丘堆積物多し (兩岸交互)	2	0	
		3		0
		4	0	
250	林道 堆積地	5	0	
		6	0	0
		4		
		7	0	
		5		
150	林道 放さく部屈 曲流過地帯	8	0	
	侵食激	6		
110	林道 氾濫堆積地	9	0	

たつて移動が行なわれたものと推測される。1953年代の土石移動は、中流部堆積地帯上部において部分的に行なわれたが、1957年代の移動になって、上流部の土石が約2kmの流過地帯を経て、堆積地帯上部へ堆積した。さらに1962年代の移動時には、上流部からの移動はもちろん、堆積地帯上部に堆積していた溪床堆積土石が堆積地帯下部へ移動し、さらに約1kmの流過地帯を経て氾濫堆積地へ達する、というように、大規模な土石移動が行なわれたものと考えられる。No. 6 溪床堆積地では、1953年代と1962年代との堆積のくりかえしが行なわれているが、No. 3 溪床堆積地では1953年代の堆積のみで1962年代のものがなく、隣接上流・下流のNo. 2・No. 4には1962年代のものがみられる。これは、1962年代の移動時にNo. 3のカ所には堆積作用が行なわれなかったことであり、約300mの短距離間において堆積作用に変化がみられ、土石移動が距離的に交互に行なわれていることを推測させるものである。また1950年代のものが中流部に堆積しており、1962年代になって下流へ移動するというような、前進的傾向がうかがわれる。

(ii) シシャモナイ沢

表-24のように1953・1961・1964年代の3回の移動がある。1953年代のものは、No. 1の上流部から中流部へと、約1kmの流過地帯を経て、No. 2のカ所まで土石が移動している。1961年には、上流部と下流部にみられ、前進的傾向もうかがわれる。1964年代のものもほぼ同様であるが、中流部No. 2 溪床堆積地のカ所には1953年代のもののみで、1960年代のものはな

表-24 シシャモナイ沢の土石移動過程
Table 24. Process of bed load movement in Shishamonai River

堆積地の位置			堆積地形成の年代	
標高m	河道状況	16	1960	1950
470	縁の箱谷 流過地帯	1	0—0	0
		1		
370	縁の箱谷 流過地帯	2		0
		2		
320		3	0—0	
250	シシャモナイ橋	4	0	
		3		

く、土石移動が上流・中流・下流で異なっており、1960年代のものは交互的な移動が行なわれたものと推測される。

(iii) モラップ沢

表-25のように、1957年と1961年代の2回の移動があり、1957年代のものは下流部の部分的な移動で川口(支笏湖)まで押し出しているが、1961年代のものはより上流部で移動し、土石は川口の直上流部に堆積している。ここでは対象距離が短いので、流域の土石移動の傾向はとらえることができない。

表-25 モラップ沢の土石移動過程

Table 25. Process of bed load movement in Morappuzawa River

堆積地の位置			堆積地形成の年代	
標高 m	河道状況	No.	1960	1950
300	滝(5mh) 治山ダム	1	0	
			0	
			0	
			0	
250	治山ダム	1	0	
			0	
			0	

(iv) 二の沢

表-26のように、1964年代の土石移動が下流部にみられるが、対象距離が短かく、土石移動過程としてとらえることができない。

表-26 二の沢の土石移動過程

Table 26. Process of bed load movement in Ninosawa River

堆積地の位置			堆積地形成の年代	
標高 m	河道状況	No.	1960	1950
290	滝(5mh)	1		
210	二の沢橋		0	

(2) 十勝岳山系溪流

前表-22より、ヌッカクシフラノ川では、1925, 1935, 1940, 1945, 1950, 1955, 1962, 1966年という、8グループの土石移動年代が推定された。ヌッカクシフラノ川左支流では1943, 1948, 1951, 1956, 1962年代の5グループ、フラノ川では1940, 1947, 1952, 1956, 1962年の5グループの土石移動年代が推定された。

表—27 ヌッカクシフラノ川の土石移動過程

Table 27. Process of bed load movement in Nukkakushi-furano River

堆積地の位置			堆積地形成の年代				
標高 m	河道状況	№	1980	1950	1940	1930	
1500	旧噴火口入口	1					
		2			0		
		3					
		4	0	0	0		
		5					
		6		0	0		
		7			0	0	
		8		0	0		
		9			0		
		10				0	
1300	勝まん滝 雄摩滝 法華滝 砂防ダム 流通地帯	11		0			
		12		0	0		
		13			0	0	
		14		0	0		
		15			0		
		16				0	0
		17			0		
		18			0		
		19			0		
		20			0		
1000	左支合流 氾濫堆積地	21	0		0	0	
		22			0		
		23	0		0		
		24	0	0	0		
		25					
		26	0	0			
		27	0		0		
		28				0	
		29				0	
		30			0		
		31		0			
750		5					

(i) ヌッカクシフラノ川

土石移動過程を表-27 に示したが、約50年間に5年に1度の割合で土石移動が行なわれている。上流部の No. 1~No. 8 においては、1940年代のものが No. 3・No. 6・No. 8, 1945年のものが No. 2・No. 4・No. 7, 1955年代のものが No. 3・No. 4・No. 6・No. 8 というように、交互に土石移動が行なわれたものと推測される。中流部の No. 12~No. 18 においては、1945年代のものがほとんどのカ所に出現しており、1955年以後のものはみられない。また、No. 19~No. 31 の下流部においては1950年代と1966年代の移動があり、中流部から下流部へ土石が前進し、逆に上流部においては中流部より新しい移動がみられ、部分的には後退的傾向もうかがわれる。1940年代のものは上流部と下流部にみられ、中流部にはみられず、1945年代のものは上流部から下流部上部まで、1950年代のものは上流部にはなく中流部から下流部まで、また1955年代のものは上流部と下流部にみられ、中流部にはみられない。以上のようにその年代によって移動に参加した区域が異なっている。ここで、上流部・中流部・下流部の3グループに分けられた地域は、上流部と中流部を結んだ滝の連続した流過地帯、中流部にみられる左支流の流入といった、この溪流個有の溪状が、土石移動形態に影響をあたえていると考えられる。

表-28 ヌッカクシフラノ川左支流の土石移動過程

Table 28. Process of bed load movement in Nukkakushi-furano-sashi River

堆積地の位置			堆積地形成の年代						
標高m	河道状況	km	1960	1950	1940				
1500	登山道 雌鹿の滝	流過地帯							
						1	0		
	3	0							
					4	0			
									5
	6	0							
					7	0			
									8
	9	0							
					10	0			
11									0
	1200	左小支	2						
					左小支				
河道土石なし									
	1000	本流合流 砂防ダム(2号)	3						

(ii) ヌッカクシフラノ川左支流

ヌッカクシフラノ川左支流では1943・1948・1951・1956・1962年代の5グループに土石移動年代を分け、土石移動過程として表-28に示した。No. 2~No. 10の区域ではほとんど同年代に移動が行なわれており、1943年代のものはNo. 4より下流、1948年のものはNo. 3より下流、1951年のものはNo. 2より下流、さらに1962年のものはNo. 1だけというように、土石移動が次第に上流部へと後退している。また、No. 10とNo. 11(本流との合流点)との間約1kmにわたっては、溪床堆積土石は少なく、さらに合流点における左支流からの土石移動は

表-29 フラノ川の土石移動過程

Table 29. Process of bed load movement in Furano River

堆積地の位置			堆積地形成の年代		
標高m	河道状況	№	1960	1950	1940
1500	左支合流	1			
	右支合流				
1300	不安定土石多 Km 1	1			
			2		
1100	段丘崖(8mh) 流通地帯	2	0	0	0
			3		
1000	登山道	3	0	0	0
			4		
900	橋	4	0	0	0
			5		
800	不安定土石多 砂防ダム	5	0	0	0
			6		

1951年代のものが最も新しい。これらのことから、1951年代以後約15年間は、No. 10以下下流部へ土石は移動しておらず、逆に上流へ後退しており、しかもひんぱんに土石移動が行なわれていることから、この溪床においては短距離間における部分的な土石移動の存在が推測される。

(iii) フラノ川

フラノ川の土石移動過程は表-29に示したが、溪床堆積地形成カ所が8カ所と少なく、その出現間隔距離も大きい。ここではNo. 1~No. 3の上流部、No. 4~No. 7の中流部、No. 8の下流部の3区域に分けられる。上流部では1940年代と1960年代の移動がみられるが、1950年代のものはみられない。中流部ではほとんどの年代の移動が行なわれ、下流部では1940年代の移動は行なわれていない。すなわち、土石移動の最も激しい区域は中流部であり、1940年代までは中流部に堆積していた土石が、1950年代に入ってから下流部へ前進(移動)し、1961年代には上流部での土石移動も行なわれ、後退的傾向もみられるが、むしろ1961年代のものが大規模な全流域を通しての移動が行なわれたものと推測される。

2. 土石移動過程の分析

(1) 土石移動頻度

過去の一定期間に発生した土石移動の回数を土石移動(発生)頻度とした。ここでは、砂防工学における一つの時間スケールである50年を単位として考え、過去50年間における土石移動の回数を土石移動頻度とした。表-30のように、移動発生間隔年数(各土石移動年代の年代差)は5年のものが多く、5年おきに土石移動が行なわれている溪流が多い。土石移動頻度は、樽前山系では17年に1回、十勝岳山系のヌッカクシフラノ川左支流とフラノ川では10年に1回、ヌッカクシフラノ川では6年に1回である。各流域における土石移動頻度は、過去の気象条件によって異なることは当然であるが、土石移動に関する流域特性の一つと考えられ、たとえば荒廃度合の一表示として考えることができる。

表-30 土石移動の頻度
Table 30. Frequency of bed load movement during past 50 years

流 域	調査距離 (km)	移動回数	移動発生間隔年数 (年)	移動頻度 (1回/年)
覚 生 唐 沢	6.5	3	4 5	1/17
シシャモナイ沢	4.0	3	8 3	1/17
ヌッカクシフラノ川	5.3	8	10 5 5 5 5 6 5	1/6
ヌッカクシフラノ川左支流	3.4	5	4 4 5 6	1/10
フ ラ ノ 川	5.2	5	7 5 4 5	1/10

(2) 土石移動の距離的变化

土石移動過程を距離的变化としてとらえるため、横軸に距離、縦軸に年代をとり図-15に示した。最上流部の溪床堆積地をその年代の移動における移動始点、最下流部のものを移動終

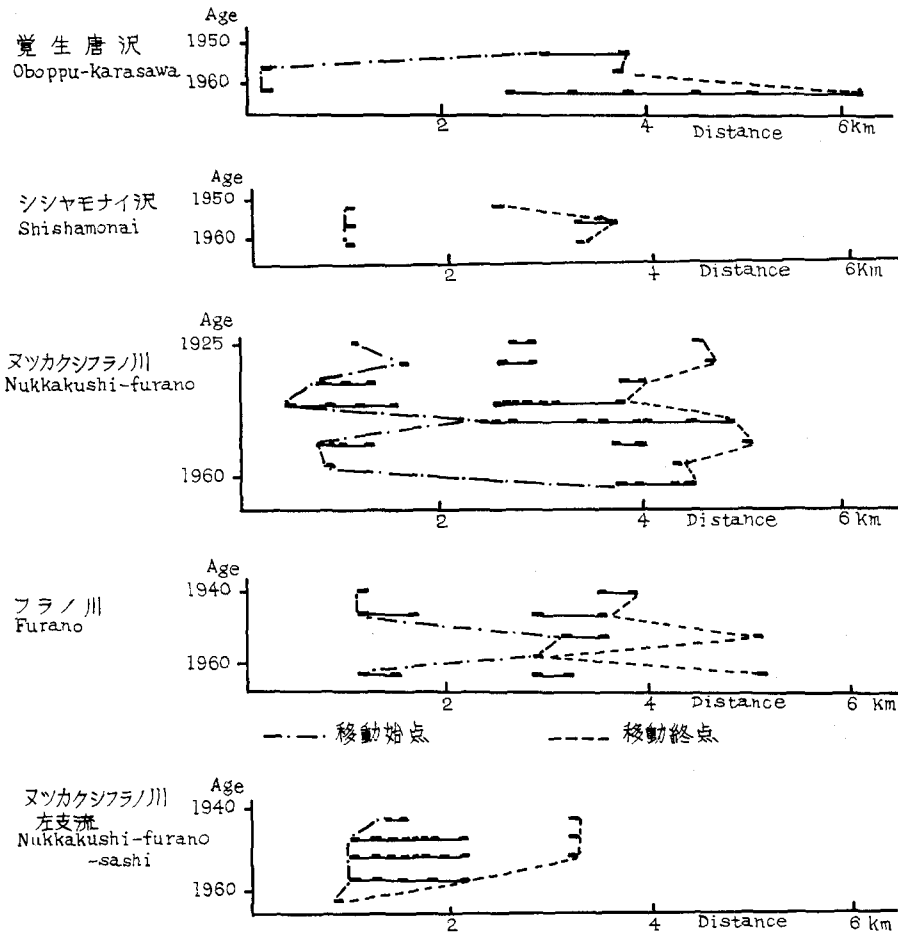


図-15 各流域の移動過程

Fig. 15. Process of bed load movement in each river.

点とすれば、移動始点・移動終点が上流へ後退すること（後退）、または下流へ前進すること（前進）、または始点と終点との間隔距離、すなわち、土石移動に参加した距離（移動距離）の変化等を見てゆくことができる。覚生唐沢では終点が前進し、ヌツカクシフラノ川左支流では逆に後退している。ヌツカクシフラノ川とフラノ川はともに前進と後退をくりかえしている。始点についてみれば、覚生唐沢では後退し、シシャモナイ沢では変動していない。ヌツカクシフラノ川では前進的傾向があり、ヌツカクシフラノ川左支流ではわずかながら後退しており、フラノ川では大きな前進・後退がみられる。これらの前進・後退の変化と移動距離の変化については表-31に示した。移動距離についてみれば、覚生唐沢では次第に長距離にわたっての移動が行なわれており、シシャモナイ沢では2回目の移動が大きくなっている。ヌツカクシフラノ川では6回目に大きく移動しているが、最近では小さくなる傾向をみせ、左支流も最近の4回・5回と短距離になっている。フラノ川では1~4回まで短距離になってきたが、5回目で最大と

表-31 移動の距離的变化
Table 31. Variations of distance (km) in each movement

流 域	移動回 毎 旧 新	移動始点の 前進・後退(-)	移動終点の 前進・後退(-)	移動距離 の増・減(-)
覚 生 唐 沢	1~2	-2.8	-0.15	2.5
	2~3	0	2.4	2.5
ツ シ ャ モ ナ イ 沢	1~2	0	1.2	1.2
	2~3	0	-0.5	-0.4
ヌ ッ カ ク シ フ ラ ノ 川	1~2	0.5	0.2	-0.3
	2~3	-0.9	-0.75	-0.1
	3~4	-0.3	-0.2	0.3
	4~5	2.1	1.1	-1.0
	5~6	-1.8	0.2	2.0
	6~7	0.15	-0.75	-0.8
	7~8	3.0	0.1	-2.8
ヌ ッ カ ク シ フ ラ ノ 川 左 支 流	1~2	-0.4	0	0.5
	2~3	0	0	0
	3~4	0	-0.1	-1.1
	4~5	-0.2	-1.3	-1.0
フ ラ ノ 川	1~2	0	-0.3	-0.2
	2~3	-2.0	1.6	-0.5
	3~4	0.3	-2.2	-1.8
	4~5	-1.7	2.2	3.8

なっている。同様に、始点の前進・後退、終点の前進・後退についても、土石移動過程の距離的变化としてとらえることができる。

(3) 同一溪床堆積地への再堆積

同一溪床堆積地における移動年代のくりかえしは、その堆積地帯における土石移動の激しさの度合を示すと同時に、溪床堆積地の安定期間すなわち土石移動による溪床堆積地の形成—消滅—形成という、一つのサイクルを示すものと考えられる。同一溪床堆積地の再堆積時間間隔年を表-32に示した。覚生唐沢とツシヤモナイ沢では移動回数が少なく傾向はつかめないが、ヌッカクシフラノ川では上流部で15年、中流部で5年と10年、下流部で5~15年のくりかえしがある。同一溪床堆積地の安定期間に地域的傾向もみられるが、全流域としてみれば約15年のものが多い。すなわち、いったん溪床堆積地が形成されると約15年の安定期があり、その地点の溪床堆積地に大きな変化を与える移動が15年間行なわれなかったと考えられる。ヌッカクシフラノ川左支流では3年、5年とくりかえし期間が短かく、安定期間が短い。フラノ川では5~16年となっているが、中流部においては安定期間が短かくなっている。

表-32 同一堆積地への再堆積時間間隔

Table 32. Intervals of redeposition at same deposit area

流域	堆積回数	再堆積時間間隔年	間隔頻度 (年×度)
覚生唐沢	2	5 9	5×1 9×1
シシャモナイ沢	2	3	3×2 8×1
	3	3 8	
ヌッカクシフラノ川	2	5 5 10 10 15 15 15 16 16 20	5×5 6×1 10×4 15×3 16×2 20×3
	3	5 5 5 6 10 10 20	
ヌッカクシフラノ川 左支流	2	3 3 5 8	3×7 5×7 8×1
	3	3 3 3 3 5 5 5 5	
	4	3 5 5	
フラノ川	2	11 11	5×1 7×3 9×1 11×2 16×1
	3	5 7 7 7 9 16	

表-33 同一年代堆積地の出現間隔距離

Table 33. Distance between same age's deposits

流域	回数	出現間隔 (km)	範囲 (km)	流域 (km)
覚生唐沢	1	0.9	0.4~3.4	1.8 (0.7)
	2	3.4		
	3	2.5 0.4 0.6 0.7 0.6 1.1		
シシャモナイ沢	1	1.2	0.2~2.3	1.6 (0.8)
	2	2.3 0.2		
	3	2.3		
ヌッカクシ フラノ川	1	1.5 0.2 1.4	0.1~3.4	0.9 (0.2)
	2	0.9 0.3 1.6		
	3	0.3 0.35 2.3 0.2		
	4	0.3 0.4 0.5 0.9 0.1 0.1 0.1 0.25 0.2 0.45		
	5	0.2 0.7 0.2 0.25 0.1 0.4 0.4		
	6	0.1 0.3 0.3 0.3 0.9 1.4 0.2 1.1		
	7	3.4		
	8	0.15 0.3 0.1		
ヌッカクシ フラノ川左支流	1	0.1 1.6	0.1~1.6	0.4 (0.2)
	2	0.1 0.1 0.1 0.1 0.1 0.4 1.0		
	3	0.2 0.1 0.1 0.1 0.1 0.2 0.3 1.0		
	4	0.2 0.2 0.3 0.4		
	5			
フラノ川	1	1.9 0.4	0.2~2.1	0.7 (0.5)
	2	0.5 0.8 0.6		
	3	0.3 1.7		
	4			
	5	0.2 1.0 0.2 2.1		

()内は堆積地出現間隔距離の平均(前表-18)

(4) 同一年代溪床堆積地の出現間隔距離

表-33に同一年代に形成された溪床堆積地の間隔距離を示した。覚生唐沢・シジャモナイ沢では間隔距離が長く、流域平均として示せばそれぞれ1.8 km, 1.6 kmとなっている。一方、ヌッカクシフラノ川では0.5 km以下のものが多く平均0.9 km, ヌッカクシフラノ川左支流では0.4 km以下のものが多く平均0.4 km, フラノ川では0.7~1.9 kmとばらついているが平均をとれば0.7 kmとなっている。これらの間隔距離は、その年代の移動時に堆積作用に参加しなかった区間距離を示すものと考えられ、各流域の移動(洗掘)・堆積の場所的变化を示すものと考えられる。前表-18(IV-1)に溪床堆積地出現間隔距離を示したが、この溪床堆積地出現間隔距離と同一年代溪床堆積地出現間隔距離との関係が問題となる。覚生唐沢では前者が0.7 km, 後者が1.8 kmであり、その比は1/2.6となり、シジャモナイ沢では同様にその比が1/2, ヌッカクシフラノ川では1/4.5, ヌッカクシフラノ川左支流では1/2, フラノ川では1/1.4となっており、全流域としてみればほぼ1/2~1/4となっている。これらの比は、同一年代溪床堆積地の出現が1~3カ所の溪床堆積地を飛び越えて、交互に現われていることであり、流域単位としてみた場合にも、前述の交互的な移動が行なわれているものと推測される。すなわち、ある年代の土石移動に参加した距離が2~3 kmであっても、その移動距離の中に、移動・堆積のくりかえしが、その流域における一定の距離単位、たとえば200~800 mといった距離の中で行なわれているものと考えられる。

3. 土石移動形態のモデル

以上のように、実地溪流における土石移動過程には、各流域ごとの相違はもちろん同一流域内においても、地域的相違⁴²⁾が認められた。土石移動過程の実態から、土石移動形態として土石移動区域が下流へ前進する「前進型」、逆に土石移動区域が上流へと後退する「後退型」、同一地域においてほとんどの年代に移動する「一律型」、さらに土石移動が交互に行なわれる「交互型」の4形態をとりだした。これらの土石移動形態の相違は、各流域・各地域の個性である溪状によるものと思われる。土石移動は溪床堆積土石の移動によるものであり、溪床堆積土石はその移動過程の中で、溪床堆積地の安定化・不安定化、すなわち溪床堆積地の形成・消滅・形成という変化をもたらすが、この変化はおもに谷幅変化に影響されていると考えられた。

図-16に移動形態のモデルを示した。谷幅変化のモデルを図-16-1にえがいたが、溪床堆積地は谷幅の大きな拡幅部に形成されることから、堆積量の変化としてえがいた「堆積曲線」(図-16-2)の波長が、谷幅曲線の波長と一致し、振幅は比例関係にあるものと仮定することができる。土石移動の行なわれない溪床では、この堆積曲線に変化はなく同一曲線をえがいているが、土石移動の行なわれている溪床では、堆積曲線の振幅に変化があると考えられる。同一溪床堆積地すなわち同一拡幅部での堆積量が、土石移動によって増大・減少し、図-16-3のように実線と鎖線でえがいた変化が同一溪床堆積地においてくりかえされ、しかも溪床堆積土石は下流へと移動してゆくのであるから、隣接上流・下流のピークが交互にあらわれる交互型

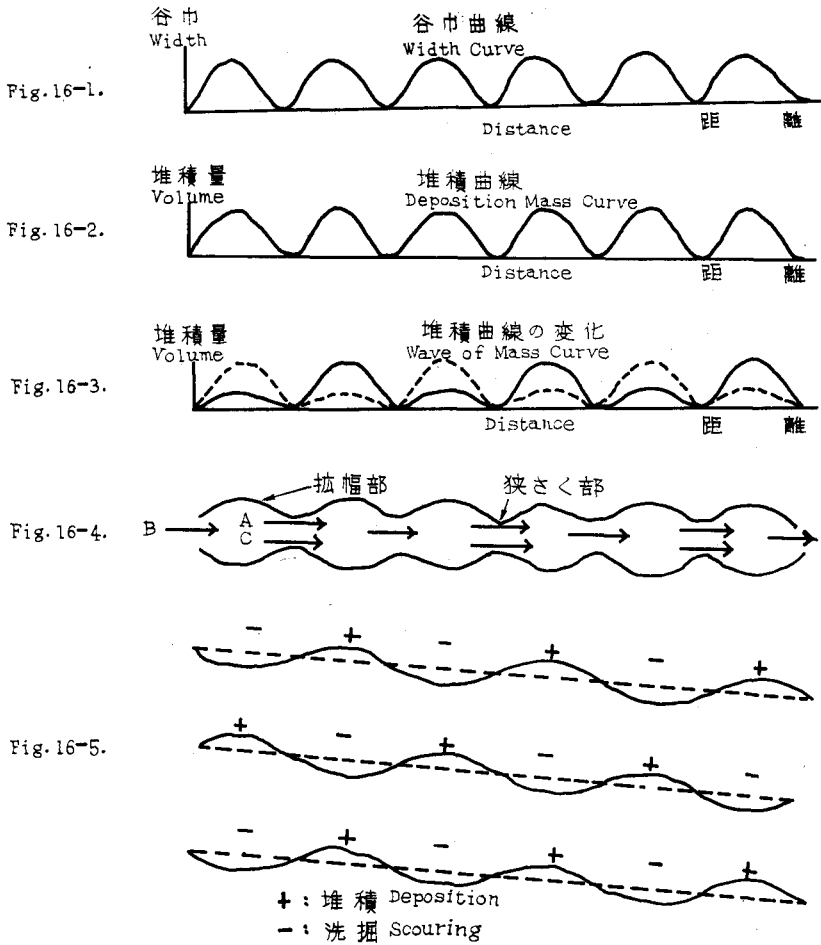


図-16 土石移動のモデル

Fig. 16. Model of bed load movement.

が、基本的なモデルとして考えられる。木下⁶⁰⁾が‘掃流うねり’と称した土石移動の形態や、‘土砂の交代¹²¹⁾’と呼ばれる移動形態が、図-16-3のピークの動きと同一のものと考えられ、ここでは溪床堆積土石の交替すなわち「土石の交替」と呼ぶ。谷幅を平面的に表わせば図-16-4のようになり、拡幅部が狭さく部によって接続されており、この拡幅部における土石の交替はたとえばA年に土石移動が発生した際には、移動(洗掘)したカ所と堆積したカ所が飛び飛びに出現し、次代のB年の移動時には、A年の移動(洗掘)カ所には堆積し、堆積したカ所では移動(洗掘)し、C年についても同様な交互の移動・堆積が行なわれるという移動形態である。これを、砂防調査・河川調査で行なわれている河床変動の表現に用いられている、溪床・河床の縦断変化・横断変化からの堆積量の増・減^{57,96)}、すなわち堆積・洗掘をそれぞれ正(+）・負(-)として表わすと図-16-5となる。実地溪流においては、同一年代の移動後において、堆積・移動(洗掘)が交互に出現し、一定区間移動(洗掘)し、一定区間堆積するという交互型の

土石移動形態が考えられる。

小倉⁶⁹⁾は、土石流を実際に観察し、土石流下量が時間的に変化し、3時間内に6つのピークが現われるという、一つの周波があることを述べている。これは1回の土石移動時において、溪床堆積土石や流木によって一時的天然ダムの形成と破壊のくりかえし^{45,160)}による波動形成の現われと考えられる。すなわち溪床堆積地の一時的形成と破壊(流出)が土石移動の基本的形態と考えられ、図-16のモデルと合致し交互型と同一のものである。この交互型は、調査対象溪流においては覚生唐沢中流部やヌッカクシフラノ川上流部などにみられ、同一年代溪床堆積地出現間隔距離が溪床堆積地出現間隔距離の約2倍であり、同一年代が交互に出現していることから、土石移動がこれらの区域においては、200~300 m 移動(洗掘)し、さらに下流200~300 m 移動して堆積するといった波動をもつことが推測され、一つの基本的移動形態として位置づけた。

この交互型の他に、堆積曲線のピークがいくつかまともって下流へ前進するものを「前進型」、逆に上流へ後退するものを「後退型」、ピークの同一のものを「一律型」とし、それぞれ堆積曲線の変化として図示した(図-17)。図-17-1の交互型は前述のとおりで、出現年代ごとの溪床堆積地の位置と堆積曲線の変化を同一図にえがいたものである。図-17-2の前進型は、新しい年代が次第に下流に出現し、堆積曲線のピークが年代の新らしくなるにつれて下流へ移動するもので、覚生唐沢・シシャモナイ沢・ヌッカクシフラノ川・フラノ川とほとんどの流域においてみられたものである。溪床堆積土石は当然下流へ移動してゆくが、移動規模の小さい場合には前進型を示さず交互型となる。前進型はいくつかの拡幅部を連続して堆積作用の行なわれる場合で、堆積曲線のピークが連続している場合であっても本質的には交互型であり、堆積曲線の波長の相違すなわち一定距離に対する波長の大きさの現われと考えることができる。後退型は、ヌッカクシフラノ川左支流にみられ、下流に古い年代、上流に新しい年代が出現し、堆積曲線のピークが上流へ後退するタイプで、図-17-3に示した。図-17-4の一律型は、ヌッカクシフラノ川左支流中流部、ヌッカクシフラノ川中流部にみられたもので、同一年代の溪床堆積地が長距離にわたって出現し、堆積曲線の波長が長く、他の年代についても同様に出現するタイプである。とくにこの一律型のうち、1回の年代しかみられない場合には、これを1回型とした。ヌッカクシフラノ川中流部はこの1回型になる。

以上のような種々の土石移動形態のタイプは、移動距離と移動頻度との相違によるもので、基本的には交互型に含めて考えることができるが、実地溪流においてはこれらの種々のタイプが同一流域内に含まれており、流域ごとにみてもそれぞれ異なっている。同一流域内においても、上流部では交互型、中流部では一律型、下流部では前進型を示していることもあり、さらに前進型・後退型の地域にも部分的に交互型を示すこともある。流域ごとにみても、三紀層溪流のトゥワルベツ川では同一年代のものがほとんどの支流に出現するという一律型(1回型)であり、ブウベツ川では出現年代が50年に1回しかない1回型で、しかも長距離にわたっ

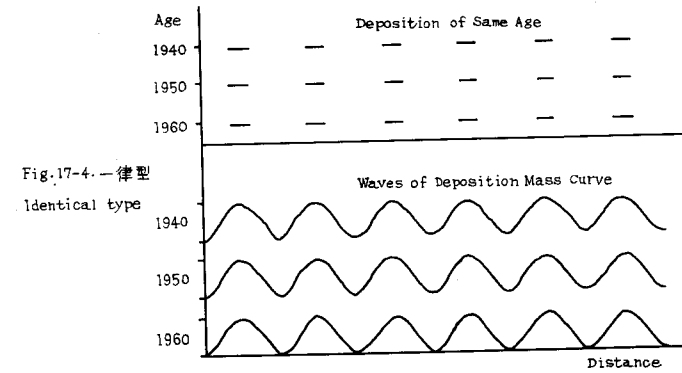
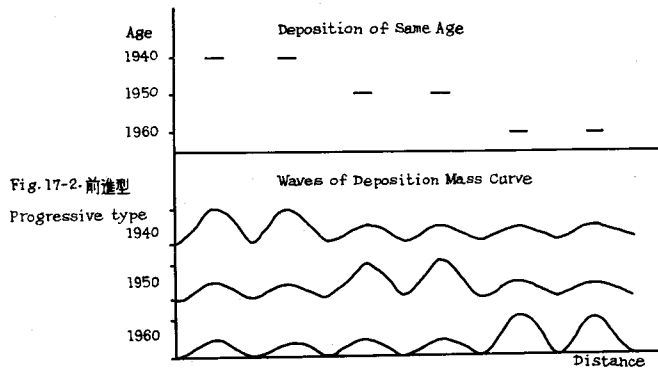
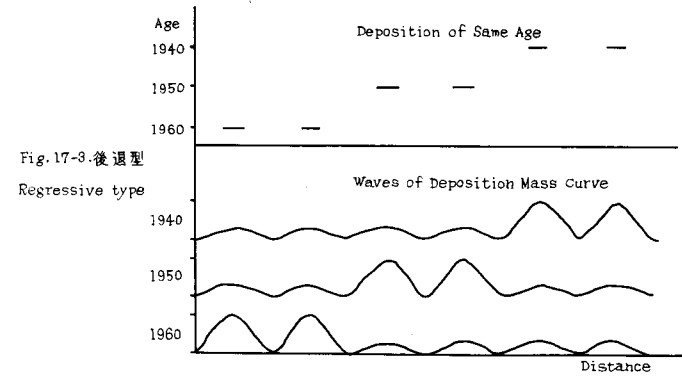
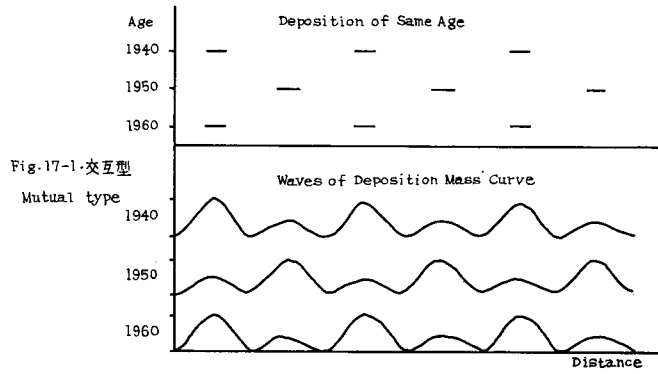


図-17 土石移動のタイプ

Fig. 17. Types of bed load movement.

て同年代が出現しているタイプというように、三紀層溪流・火山性溪流・火山性荒廃溪流という流域ごとの相違がみられる。これらのタイプを流域特性としてとらえることによって、実地溪流での土石移動過程の解析が行なわれ、砂防計画への技術的適用へのアプローチをもつものと考えられる。

VI. 溪床堆積土石と砂防計画

1. 溪床堆積土石の意義

(1) 土石災害

土石災害における自然現象は土石移動現象であり、土石流(山津波)、土砂流、山崩れ(地すべり)等における移動主体は‘土石’である。過去の災害経験から、土石災害はおもに土石流によるものであり、この土石は過去に山腹から移動し溪床に堆積していた溪床堆積土石であることが認められている^{31,67,106,130,153}。小出⁶⁷⁾は、災害における土石の主体は、山崩れなどの一次生産によるものではなく、すでに溪床に堆積していた溪床堆積土石の移動すなわち二次生産によるものであると述べている。また、1966年足和田災害、1967年羽越災害においても、土石移動の主体は山腹からのものではなく溪床からのものであることが認識しなおされた^{106,153)}。また、洪水災害をあつかう河川工学の分野においても、河川災害における土石の役割りを重要視してきており^{1,42,126)}、中小河川災害における土石移動の関与について注目している。日本における自然災害の変遷について西川⁹⁷⁾は、土地利用形態の変化と明治以後の高水工事の結果、昭和30年頃までは洪水災害が多く発生しているが、昭和30年以後には都市災害、集中豪雨災害等の局所災害が多くなったとしており、中小河川対策の立遅れを指摘している。河川工学であつかわれる中小河川における災害は、砂防工学であつかう土石災害と同様に、土石移動現象によるものである。河床変動・局所洗掘・蛇行等の、河川工学であつかわれている現象は、それが流水によるものであっても、本質的には土石の移動(洗掘)・堆積現象によるものである。

土石災害を論じる場合、活動性・非活動性、免えき性、土砂生産の連続性・周期性等がおもな論点となっている^{16,71,104,112,113,128)}が、土石移動現象を解析する方法論が確立されていないため、まとめようのない議論がくりかえされている。また時には、下流における土石災害が、上流山地の崩壊や森林の荒廃⁹¹⁾に直結するというような、災害生起の時間と距離を考えない議論もなされる。予防治山⁹²⁾の中では、溪流荒廃防止事業が他のはげ山防止事業、山腹崩壊防止事業と併列され、溪流侵食による山腹崩壊防止が優先し、下流域における土石災害防止は第二義的なものとしてあつかわれており、溪床堆積土石の移動に対する予防対策の欠如が指摘される。とくに治山の場面では、山腹斜面からの土石移動を根本的なものとし、山腹崩壊裸地面積をもって流域の荒廃度合いの指標とする誤った考えをもち、全国的に行なわれている荒廃危険地帯の判定^{50,110)}においても、荒廃地すなわち崩壊裸地といった考え方にとらわれ、土石災害生起の危険率の高い溪流荒廃も第二義的にあつかわれている。すなわち、下流被災対象に対す

る加害度の軽減という、本質的な防災という立場が不明確となっている。

(2) 時間スケール

土石移動による変化は、ある一定時間内における変化としてとらえなければならず、砂防工学で対象とする時間スケールの中で論じなければならない⁷⁵⁾。まず砂防工学の対象時間スケールをいかにとるか問題となるが、筆者は樹木年輪数による方法から、50~100年以内とした。これは、砂防計画における最大洪水流砂量や計画最大日雨量の超過確立年が50~100年であること、さらに経験的にも計画対象将来年を50年程度としたり、またはわれわれの生活時間である50~100年としていることなどから、適当な時間スケールと考えられる。

土石移動現象は、ときには地殻表面の侵食現象の一環としてとらえられることもあるが、これには地質学・地形学であつかう大スケールの侵食や、ごく表層における凍結・凍上・雨滴侵食といったマイクロな現象まで包含されており、溪流の縦・横侵食、山腹斜面の崩壊・表層風化なども、侵食現象のタイプとしてとらえられている。しかし、これらの現象を同一の侵食現象としてとりあつかうことは、それぞれの現象の時間スケールが異なっていることから、困難である。また、土石の山腹における移動現象と溪床における移動現象とは時間スケールの相違がある。溪床堆積土石の移動については比較的短い時間内⁷⁶⁾で、時間と距離の変化として論じることができたが、山腹における土石移動は、移動距離が溪床のものより短く、時間的变化としてとらえにくい面がある。さらにもっとも問題となる崩壊地新規発生においては、崩壊現象の時間スケールが大きく、ときとして侵食輪廻にまで広げて考えられる場面もあり、前者とは同一に論じることはいできない。

(3) 山腹と溪床

砂防工学では、研究諸課題の中でも、土石の生産・流出とよばれる土石移動現象に関するものが、おもな研究テーマとしてとりあげられている。上流山地における崩壊地に関する研究^{1,86)}、下流河川における砂礫の移動に関する研究^{127,140)}がおもで、一般に前者が土石の生産、後者が土石の流出とよばれている。土石生産・流出の概念は明確ではなく、基本的には、流域内における各地点の土石移動現象の性格を問題とすべきであるので、筆者は、「土石移動」として論じている。すなわち、溪流の場合には、各溪流の各地点における土石の移動・堆積に関する特性が問題であり、山腹の場合にも、山崩れ(地すべり)、風化侵食においても、土石の移動・堆積(停止)に関する特性が問題となる。

(i) 山 腹

山腹における土石移動は、崩壊機構の解明として^{19,55,86)}、気象・地質等との関連で論じられ、対象としては山崩れまたは地すべりであった。山崩れは、板状体の崩壊⁶⁶⁾のように崩土が溪床へ移動して終り、山腹には過去の移動結果としての裸地面が残るだけで、移動過程を示す痕跡は少ない。一方、地すべり^{65,129)}は、移動土石がいまだに山腹に停止している崩壊地であり、亀裂・滑落崖・押し出し粘土・波状地形等の痕跡が残存し³⁹⁾、時間的情報を得ることがで

きる。航空写真による斜面変形の観測⁸⁶⁾、実測による斜面変形の観測、樹木年輪アテによる移動履歴の解析²⁶⁾、または亀裂裸地の木本群落による移動年代の推定など、地すべり地のもつ特性である移動の反復性から、移動過程としてみてゆくこともできる。さらにマイクロな移動をみるには年数 cm といった微少移動の観測¹¹⁹⁾や、地下水位変動⁴⁾または地すべり土の土質的解析³⁾なども行なわれている。

山腹の土石移動によって溪床へ参加する土石についてみれば、既存崩壊裸地からの土石は少なく、地すべり地からの参加も少ない⁴⁰⁾。崩壊地の新規発生による崩土が量的にはもっとも多いであろうが、現存する溪床堆積土石の量と比較すれば、一見安定しているようにみえる溪床内の移動可能な土石の方が、はるかに量的に多いと考えられ、その典型が荒廃溪流である。崩土や押し出し等が流水をせき止め、溪床堆積土石の移動を誘発する一因となることもあり、防災的には山腹の土石移動も考えなければならない。しかし、山腹土石が溪床堆積土石の増加をもたらしても、山腹土石の移動が直接、下流の土石災害を生起するのではなく、その間には物理的距離による時間のズレ¹²⁰⁾がある。上流における山腹土石の移動が、下流の溪床堆積土石の移動には直接むすびつかず、被災対象とそれに襲いかかる移動土石との間の距離・時間を考えなければ、現実的な土石災害防止に直面している砂防工学はなりたない。

(ii) 溪 床

溪床堆積土石の移動に関する研究としては縦横侵食・洗掘としてとらえた河床変動の研究^{90,123,124,142,157)}、砂礫堆・蛇行の形態的研究^{48,60,61,62)}、掃流に関する研究^{2,127)}、砂漣や Saltation に関する研究¹⁵⁵⁾、実地溪流の土石流に関する研究^{64,69,106,119)}、土石流の実験的研究^{10,51,87,143,158)}、砂礫流出に関する研究^{20,90,137)}などがある。これらの現象はすべて土石移動によって現われる変化であり、溪(河)床の上昇・低下は堆積土石の増加(堆積)、減少(洗掘)によるものであり、砂礫堆・蛇行は土石移動による形態的变化であり、局所洗掘も土石の移動(洗掘)による変化である。

砂防工学においては、水文・水理学で発展した掃流理論を土石移動現象解析に応用したものが多く、土石の堆積作用から論じようとしたものは少ない。土石移動を定量的に表現するものとして、流砂量・流砂量曲線・最大洪水年流砂量・貯砂量等の用語⁹³⁾は、河川工学における、流量・流量曲線・最大洪水年流量・貯水量等の用語¹⁵¹⁾の‘水’の概念を単に‘砂’におきかえたものである。土石災害防止を目的とした砂防工学においては、実地溪流における土石移動現象を解析することから出発しなければならないが、その前の段階として、溪床堆積土石の調査方法を確立しなければならず、この具体的方法の提示が当面の課題となっている³¹⁾。現在行なわれている方法は、調査時点以後の変化をしるのみで、移動現象のくりかえしの中から規則性をとりだすには多くの年数を必要とする。したがって、ある時点においてその対象流域における土石移動に関する特性をしるには筆者の提示した樹木年輪数による過去の土石移動年代の推定と、溪床堆積地の形成とその出現年代の距離的变化を解析することによって、過去の土石

移動過程の中から法則性をみいだす、という方法は有効なものと考えられる。

(4) 溪床堆積土石の位置づけ

図-18のように、土石移動を山腹の場合と溪床の場合とに、移動の発生する場所について2つに分けた。前者の移動土石に対して山腹土石、後者に対しては溪床土石すなわち溪床堆積土石とした。山腹土(地)塊、地すべり土(地)塊、表層風化土等の呼称を山腹土石に統一した。また、土石の材料・形態・場所・形成過程等の相違によって、氾濫堆積物・段丘堆積物・扇状堆積物・河道堆積物・溪床堆積物・崖錐堆積物・土石(砂礫)円錐・地すべり押し出し・崩土堆積物等の名称を、すべて溪床堆積土石の中に含めた。すなわち、山腹土石の移動によって溪床へ堆積した崩土堆積物は、すでに溪床堆積土石と同じ意義を下流に与え、新しく溪床堆積土石として移動・堆積のくりかえしを行なってゆくものである。山腹土石が直接災害に結びつく場合には、山崩れ、地すべり、崖くずれ、土砂崩れまたは落石等の名称が与えられている。また溪床堆積土石が移動する場合には、土石流・山津波・土砂流・泥流等の名称が与えられている。これらの現象名は、土石・土砂・泥・石などの材料、流・崩れ・すべり・落などの移動状態、または山・崖・地などの移動発生場所などによって、それぞれ便宜的に分類・利用されているだけで、概念的に明確なものではない。筆者は、材料に対しては「土石」とし、種々の移動状態については単に「移動」とし、すべてを含めて「土石移動」とした。土石移動現象によって生起する自然災害を「土石災害」としたが、この土石災害はおもに溪床堆積土石

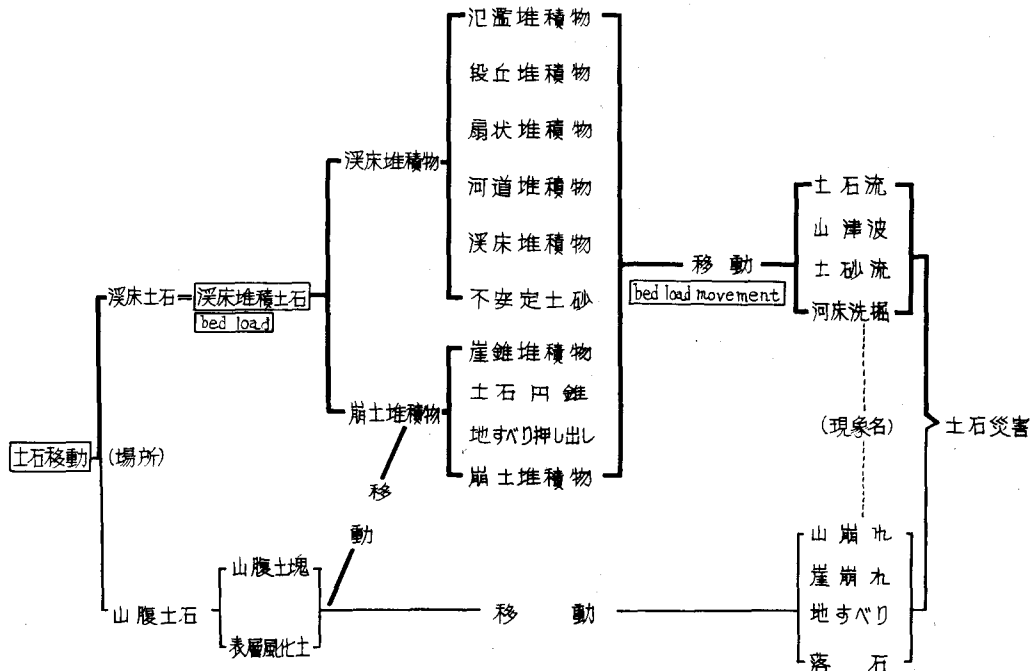


図-18 溪床堆積土石と土石移動

Fig. 18. Definition of the terms "bed load" and "bed load movement".

の移動によるものが多いこと、山腹土石の移動は溪床堆積土石の移動にくらべて時間スケールが大きいこと、また土石災害の場面までの物理的距離が長いこと、山腹土石移動のくりかえしを現象解析することが困難なこと、さらには前述のような溪床堆積土石の移動過程を解析する方法が提示されたこと、等の理由から、土石移動はおもに溪床堆積土石の移動を意味することにした。

2. 砂防計画への展開

(1) 基準点と堆積地帯

砂防計画は、砂防基準点の設定と基準点における‘流出土砂量’の決定とから始められており、量として土石をとらえることはあっても土石の質については考慮されていない^{93,157)}。すなわち計画対象土石を量としてとらえるのみで、被災対象である人命・財産に対する土石の質的意味については考えられていない。これは、従来の砂防計画が水系計画の一環として行なわれてきたこと、すなわち、下流河川に対する流出土石の影響を第一義としてあつかわれ、土石移動による直接的災害の防止が第二義的にあつかわれてきたことによるものである。木村⁵⁹⁾は、足和田災害・飛騨川災害等の経験から、水系計画としての砂防計画を再検討しなければならないとしている。砂防計画における基準点は被災対象物の場所とし、その上流における溪床堆積土石の被災対象に対する有害度を判定し、有害土石の位置・量・移動形態のタイプ等によって計画対象土石を判定することから、砂防計画はなされるべきである。この有害度の判定は、時間と距離の因子を実地溪流へ導入することによって可能となる。すなわち、近い将来に被災対象へ襲来するであろう溪床堆積土石の位置・量・移動形態のタイプを判定すること、さらに時間的予測を可能ならしめることが、土石災害防止にとっては不可欠の条件である。このためには、被災対象である基準点に対する上流の土石移動現象を、時間的・距離的にとらえ土石移動過程として把握しなければならない。

図-19 に計画対象流域をモデル化して示した。被災対象を基準点(0)とし、より上流の支流との合流点をA, B, …, Gとし、これらを原点(仮基準点)として数個の小流域単位に区分した。この基準点(0)は、水路次数⁹⁾で

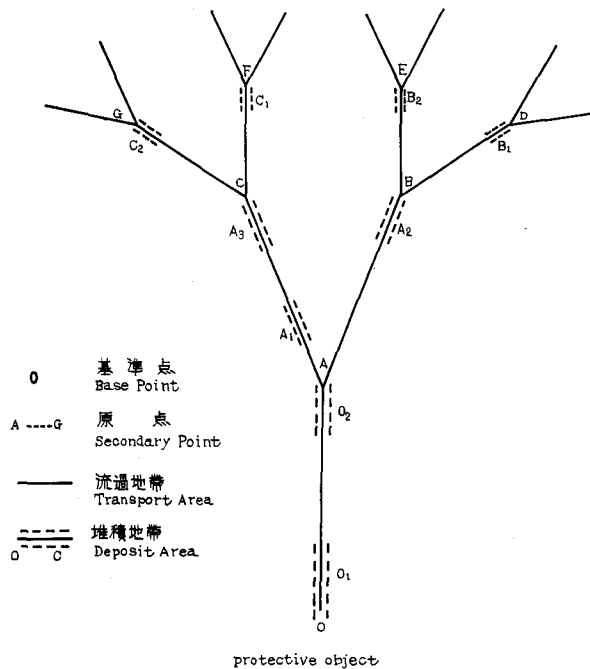


図-19 堆積地帯の位置づけ

Fig. 19. Deposit area to protective object.

は4次水路としたが、流域の大小によって土石移動の時間スケールが異なることが考えられ、北海道のように現在の被災対象は下流にあり大流域としてとらえられるが、奥地開発にともなって被災対象が上流へと進展し、基準点が3次水路・2次水路となることもあり、原点(A, B, ..., G)をも仮定の被災対象(仮基準点)として考えた。木村⁵⁹⁾は溪流の計画を第1に立て、溪流の出口にC級基準点を取り、次に中小河川に第2のB級基準点を取り、その後大河川のA級基準点を決めるという方法を提案している。つぎに、溪床堆積土石の豊富な堆積地帯と谷幅が狭く溪床堆積土石の少ない流過地帯とに区分し、堆積地帯を基準点(0)に近いものから O_1, O_2 とし、さらに原点(A)に対しても A_1, A_2, A_3 というように仮定した。各堆積地帯 $O_1, O_2, A_1, \dots, C_2$ の基準点(0)に対する有害度を判定しなければならない。すなわち、各堆積地帯の溪床堆積土石が、計画対象将来年とした50年以内に、被災対象へ到達するかどうかを判定し、 $O_1 \rightarrow (0), O_2 \rightarrow (0), A_1 \rightarrow (A), A_2 \rightarrow (A)$ という、時間的な移動傾向を距離的にもとらえなければならない。被災対象と有害土石との間の距離は、土石移動をとらえるうえで重要な因子である。距離は時間の関数と考えられ、上流における溪床堆積土石よりは、被災対象に隣接した溪床堆積土石の方が、被災対象への到達時間が短い。距離の差は移動による到達時間の差であり、移動土石が被災対象へ到達する時間の遅速である。基準点(0)に対してもっとも有害度の高い堆積地帯は O_1 であり、つぎに O_2, A_2, \dots というように、距離の遠近によって有害度は定められ、各堆積地帯を同一に位置づけることはできない。 $A_1, \dots, B_1, \dots, C_1$ らの土石が移動し(0)に達する時間と、 O_1 の土石が(0)に達する時間とは大きなへだたりがある。 B_1 の土石が流過地帯を経て A_2 に達すれば、この地点で土石は堆積し、(A)に到達する土石は A_2 で交替された土石がおもなものであるから、さらに B_1 の土石が(0)に到達するにはより多くの時間を必要とし、距離の差は到達時間の差である。有害度の判定はおもに距離によってなされ、それぞれの堆積地帯の有害度の優先順位が定められる。

(2) 砂防調査

各堆積地帯について、狭さく部と拡幅部に区分し、溪床堆積地における土石移動の時間的情報を追跡調査し、土石移動形態のタイプをとらえなければならない。

(i) 溪床堆積地の範囲

溪床堆積地は地形的に山腹谷壁斜面とは区別されるが、これには古くから堆積・安定しているものや、ごく最近形成されたもの、現在も動きつつある安定期間の短いものなどが含まれている。ヌッカクシフラノ川上流の溪床内に形成されている溪床堆積地の事例においては、旧溪床堆積地は比高20~30mの段丘堆積物であり、新溪床堆積地は比高1~10mのものであり、新々溪床堆積地は比高0.5~1mのものである。これらの溪床堆積地の形成過程は同種のものであっても、規模はもちろん土石移動現象の時間スケールが異なっている。どこまでの溪床堆積地を対象とするかは、砂防計画対象の時間である50~100年以内に移動に参加したものかどうかを判定することによって、決定しなければならない。流路変化・蛇行その他の移動痕

跡によって河床変動の範囲を定める場合は、扇状堆積地のような溪床の横断的範囲が不明確な地帯において行なわれる。航空写真を利用した場合には、大きな時間スケール内の土石移動の痕跡である、植生が繁茂して一見安定した溪床堆積地をも含んでしまう。古い溪床堆積地も、未曾有の大災害時にはその移動に参加することも考えられるが、砂防計画で対象とする土石移動現象の時間スケールを50年または100年としているので、現地調査においてその時間内の移動痕跡の認められないものは、計画対象土石から除かねばならない。しかし、古い溪床堆積地が被災対象と距離的に隣接している場合には、これを計画対象土石に含める。

(ii) 土石移動の痕跡

各堆積地帯の移動形態をするためには、溪床堆積地における土石移動の時間的情報を示す移動痕跡を調査しなければならない。河川工学の分野では、水位測定・洪水流量の推定または計画洪水位の決定などに、洪水痕跡¹⁵⁾が利用されることがある。上流河川においては、流量の増加による流水氾濫というよりも土石移動による土石氾濫の形態が多く、洪水痕跡が同時に土石移動の痕跡でもあり、ここでは洪水痕跡をも含めた広義の痕跡として土石移動の痕跡⁶⁾とした。この痕跡には以下のようなものがあげられる。

- ア. 大径岩礫が溪床を埋積している。
- イ. 谷壁に付着した泥土や移動擦痕。
- ウ. 溪床堆積地の断面にみられる数層の堆積層と堆積層のくいちがい。
- エ. 溪床堆積地表面にうすくかぶった泥土層。
- オ. 溪床堆積地に生育している樹木に、土石移動による倒木・幹折・枯死・枝条の損失等の現象がみられ、洪水位を示す樹皮の損失もみられる。
- カ. 溪床堆積地が数段の段丘面をもっている。
- キ. 溪床堆積地に同齡林分が形成されている。
- ク. 数段の段丘面をもっている場合は、階段状同齡林分が形成されている。
- ケ. かつて埋没していた樹木の根幹部が洗掘によって裸出し、不定根を示している。
- コ. 溪床堆積地表面にうすく泥土をかぶった場合には、かぶったカ所に稚樹が発生している。

溪床堆積地の存在そのものが、過去の土石移動の痕跡でもあるが、この溪床堆積地にみられる痕跡のうち、時間的情報を示すものは地形的特長としての溪床堆積地の段丘化と、同齡林分の形成とであり、最も重要な痕跡である。前者は土石移動のくりかえしを示す相対的時間を示すものであるし、後者は土石移動年代を示す絶対的時間を示すものとして位置づけられた。

(iii) 時間的・距離的解析

各溪床堆積地の同齡林分の樹木年輪数から溪床堆積地の形成年代、土石移動年代を推定し、その年代をその地点における点としての年代とし、他の溪床堆積地の年代との関係を水系として求める。さらに出現年代の距離的变化を土石移動過程とする。移動過程から各堆積地帯

の移動形態としての傾向をとらえ、とくに移動距離の変化としてとらえる。堆積地出現間隔距離と同一年代堆積地出現間隔距離との関係を求める。堆積地帯が交互型の移動で、1回の移動距離が1 km以内であるとすれば、その0.5~1 km内の溪床堆積土石を計画対象土石としてとりあげ、この間に堆積している土石量を計画対象土石量とする。堆積地帯の有害度の優先順位は、計画対象土石の被災対象からの距離および土石量の多少などから決定される。

個々の対象流域内における有害度判定のつぎには、他流域との比較によって各流域の有害度を判定し、計画対象流域の優先順位を決定する。鷲尾¹⁴⁷⁾は河川を荒廃河川・荒川・急流河川というタイプに分けている。柿⁵²⁾は50年サイクルとした流砂量曲線を考え、これによって活動性河川と非活動性河川とに分けているが、鷲尾の分類にくらべて、時間スケールを設定しこの間における移動規模によって分けている点では、より具体的である。しかし実際問題として、流砂量の測定は困難である³⁰⁾し、その調査方法もいまだに確立されていない。流域の荒廃度合は、現在まで流域内の崩壊裸地面積の比較によって行なわれることが多かったが、下流の被災対象における荒廃の対象は溪流荒廃であり、この荒廃度合は、土石移動過程を時間的・距離的に解析し表示することによってより具体的なものとなる。土石移動頻度が荒廃度合の一つの表示となり、単位時間スケールである50年間に生じた土石移動の回数をもって流域特性の一表示とする。前述のヌッカクシフラノ川においては、1回/6年という頻度で、他流域よりも荒廃していると考えた。移動頻度の相違は溪床堆積土石量の多少すなわち過去の溪床堆積土石の形成過程に影響されている。常願寺川の鷲崩れ⁷³⁾、安倍川の大谷崩れ⁶⁷⁾、ヌッカクシフラノ川の爆裂火口の崩壊³¹⁾などといった、山体の大規模崩壊によって、大量土石が下流へ堆積し、この堆積土石が直接の移動材料となっていることが、荒廃溪流(河川)の特長である。

(iv) 移動形態と対策

以上のように、対象流域の有害度の優先順位を判定し、計画対象流域・計画対象土石を決定するが、つぎには、それぞれの対象土石の移動形態の特長(タイプ)とその対策を考えなければならない。土石移動形態としては、交互型が基本的なものとしたが、前図-18のように、堆積曲線のピークが移動するものと仮定したので、したがってこのピークの移動を生じさせないかまたは緩和させることによって大規模な土石移動を防止することが対策として考えられる。溪流工事は、現溪床の維持を目的とし、溪床堆積土石の移動エネルギーを弱め、土石流のような大量土石の一時的移動を防止することを目的としているはずであるから、溪床堆積地の形成-消滅-形成のサイクルにみられる、現溪床堆積土石の移動を緩和させる対策が考えられなければならない。たとえば、ある拡幅部における堆積曲線のピークを一定に固定化すれば、上・下流部の隣接拡幅部においては堆積作用が生起し、より高ピークとなり、溪床堆積土石の交替が抑止されるものと推測される。とくに荒廃溪流のように、土石流のような破壊力の大きい土石移動がくりかえされている溪流においては、溪床堆積土石が溪床を深く埋積しているので、深部から一挙に移動しないように、溪床堆積土石の固定化がはかられるべきである。ダム

サイトを狭く部とすれば、その隣接上流拡幅部においても土石移動は行なわれるであろうし、さらに狭く部の高ダムは、土石流によるダム破壊の脅威にさらされたり、下流部の土石移動を促進させ、下流部洗掘のためダム転倒の危険さえ生ずるという不合理をみせている。渓床堆積土石の交替を批止するには堆積曲線の高ピークと低ピークの間、仮定の安定ピークを地域的に固定化することも考えられ、このためには拡幅部における堤高の低い埋設ダム工も一方法と考えられる。

前進型を示す地域については、土石移動が下流へと前進してくる傾向にあるので、この堆積地帯の下流部には土石が豊富に堆積し、この土石の移動が問題となる。したがってこの下流部において、これらの土石が一挙に移動流下しないような計画・施工を考えなければならない。後退型の地域については、上流部の土石が次第に移動に参加し、その土石が堆積地帯に堆積し蓄積してゆく傾向にあるので、上流部の移動を弱め、堆積しつつある土石を減少(流下)させることによって、土石増加による天然ダムの形成・破壊からくる大規模な移動を防止しなければならない。これは移動のたびに堆積作用を生起する一律型の地域についても同様である。また、過去50年間に1回のみ1回型の地域、またはまったく移動痕跡のみられない流域においては、被災対象に隣接した上流拡幅部が、最優先計画対象地域となり、移動形態をとらえることができない地域においては、この隣接上流拡幅部の渓床堆積土石の移動流下を防止することが重要な対策となる。

摘 要

土石災害を生起する土石移動現象、とくに渓床堆積土石の移動現象解明には、時間と距離によって解析しなければならないことを論じ、実地溪流における土石移動の痕跡である渓床堆積地の段丘化と堆積地に形成されている同齢林分と階段状林分とから、樹木年輪数が、土石移動年代を推定する有効な時間的情報であることを確かめた。この方法により、実地溪流における土石移動過程を、時間的・距離的に解析し、移動形態のモデル化を試み、さらに砂防計画において急務とされている、渓床堆積土石の調査方法の確立と災害予防計画への展開について考察した。

1) 荒廃溪流の実態について調査し、渓床横断面の地形的特長として、比高1~10m、段丘面が1~4からなる小規模な段丘地形をとりあげ、その形成が土石移動のくりかえしによるものであり、段丘面・段丘崖の存在を、土石移動の相対的時間を示す指標であると考えた。

2) 渓床堆積地には、ミヤマハンノキ・ケヤマハンノキ・ダケカンバ・ナガバヤナギ・ドロノキ・トドマツ等の同齢林分が形成されている。2段以上の段丘地形をなす渓床堆積地の各段丘面には、それぞれ同齢林であり、段丘の比高区分と樹齢区分さらには樹高区分とが一致し、上部段丘のものほど老齢であるという、特長ある林分が形成され、これを階段状林分と名付けた。段丘で示される相対的時間を、樹木年輪数がさらに絶対的時間を表示していると考えた。

3) 山腹崩壊裸地においても、同齡林分を形成する木本群落が確かめられた。

4) 天然生同齡林分の形成は、自然条件としては、火山爆発・洪水・土石流・山腹崩壊等によって、土石が旧植生を破壊し裸地を形成することにより、木本の同時侵入が行なわれることによるものであると推論した。

5) ヌッカクシフラノ川では、道路開設にともなう道路沿線の捨土に、ミヤマハンノキ・ナガバヤナギの同齡林分が形成されており、この樹齡と道路開設年とがほぼ一致することを確かめた。さらに、樽前川上流では土石移動によって形成された溪床堆積地上のケヤマハンノキ・ナガバヤナギの同齡林分の樹齡と、土石移動年代とがほぼ一致した。これらのことから、木本侵入は裸地形成後すみやかに(1~2年以内)に行なわれるものと考えた。

6) したがって、天然生同齡林分の樹木年輪数は、過去の土石移動による裸地形成年代、溪床堆積地においては、溪床堆積土石の移動年代を示す指標となりうると考えた。

7) 実地溪流における溪床堆積地上の同齡林分の樹木年輪数から土石移動年代を推定した。推定有効年代は約50年さかのぼることができた。

8) 溪床堆積地は、谷幅の狭さく部にはさまれた拡幅部に形成され、谷幅の変化に影響されており、谷幅曲線の波長と振幅の相違によって、一定距離内の堆積地の数および堆積地出現間隔距離に相違が生ずるものと考えた。

9) 堆積地出現間隔距離と土石移動年代との関係から、溪床堆積土石の時間的・距離的变化を土石移動過程として分析した。過去50年間に出現する移動年代の数(移動回数)を土石移動頻度とすれば、1回/6年~1回/50年というように、各溪流ごとに相違し、この頻度を荒廃度合の一表示とすることができる。

10) 同一年代堆積地の出現間隔距離は、堆積地出現間隔距離の2~3倍となっており、土石移動が、一つの周波をもち、200~800mにわたる1回の土石移動距離が推定された。

11) 土石移動形態は、交互型・前進型・後退型・一律型の4タイプに分けられたが、これらは流域によって、さらには流域内の各地域によって、種々のタイプを示している。これらの移動形態を、谷幅曲線と相似であると仮定した堆積曲線の変化として解析し、モデル化した。

12) 土石災害における溪床堆積土石の重要性を論じ、山腹土石の移動とは、時間スケールの相違・距離スケールの相違から、同一に論ずることはできないと考えた。また、実地溪流における土石移動現象を、過去の一時点から現在時点までの移動過程としてとらえることによってはじめて砂防計画に対して有効なアプローチをもつことができるものと考えた。

13) 砂防計画における基準点は、現時点における被災対象とし、下流河川に対する溪流の影響は第二義的なものとすべきであると考えた。流域間の計画優先順位・計画対象土石の有害度等の判定は、対象流域の土石移動過程を解析し、堆積地帯の溪床堆積土石の被災対象に対する、時間的・距離的移動の特性とその形態(タイプ)を調べることによって可能となる。

文 献

- 1) 足立昭平: 山地河川における土砂流出に関する基礎的研究. 第1回災害科学総合講演会講演要旨, 151-253, 1964.
- 2) 安芸皎一: 河相論. 岩波書店, 1951.
- 3) 新谷 融・村井延雄: 中川地方地すべり地における地すべり土の物理的性質について. 77回日林大会講, 580-582, 1966.
- 4) 新谷 融・村井延雄: 様似町地すべり地における集水井戸の水位変動. 日林北支講, 14, 111-114, 1965.
- 5) 新谷 融・清水 宏・佐々木智徳: 荒廃河川における段丘形成の一例. 一空知川支流ヌッカクシフラノ川一. 日林北支講, 16, 133-135, 1967.
- 6) 新谷 融: 荒廃溪流における土石移動の痕跡. 新砂防, 69, 19-26, 1968.
- 7) 新谷 融: 樽前山ガリーにおける土石移動. 日林北支講, 17, 130-133, 1968.
- 8) 防災ハンドブック編集委員会: 防災ハンドブック, 技報堂, 1964.
- 9) CHOW, V. T.: Quantative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks. Handbook of Applied Hydrology, 1964.
- 10) 大同淳之: 土石流の流動について. 第2回災害科学総合講演会講演論文集, 122-128, 1965.
- 11) 伊達大和・熊谷直敏: 溪岸の傷痕木と洪水との関係. 日林中支講, 17, 174-183, 1969.
- 12) DAVIS, W. M.: Physical Geography. Boston, 1890.
- 13) 土木学会: 水理公式集. 1967.
- 14) 土質工学会: 土質試験法. 1964.
- 15) DRUDE, O.: Deutschlands Pflanzen-Geographie. Stuttgart, 1896.
- 16) 遠藤治郎: 土砂生産の連続性と周期性. 林試場報, 44, 1968.
- 17) 遠藤隆一: 砂防工学. 共立出版, 132, 1958.
- 18) 遠藤泰造・鶴田武雄: 火山噴出物をデーターとした過去350年間の山崩に関する量的研究. 林試北支年報(1963), 261-282, 1964.
- 19) 遠藤泰造・鶴田武雄: 植生および侵食からみた崩壊斜面の推移とその緑化に関する研究(I). 一崩壊斜面の植生の回復年数について. 林試北支年報(1965), 187-196, 1966.
- 20) 榎本政雄・佐藤昭夫・山本兼次・岡田勝彦: 神通川流域における河床堆積砂礫岩種別分類(第1報). 一砂礫流出比計算の一方法. 新砂防, 67, 9-20, 1967.
- 21) 伏谷伊一・野口晴彦: 溪床における礫の移動堆積と安定勾配について. 新砂防, 48, 1-3, 1963.
- 22) 後藤春利: 十勝岳爆発後十年間の植生の遷移. 日林誌, 19, 12, 537-550, 1923.
- 23) 畠山久尚編: 気象災害. 共立出版, 1966.
- 24) 羽田野誠一: 地形解析による山地流域侵食速度推定の一方法. 砂防学会講演概要, 1967.
- 25) 浜田達二訳(AITKEN, M. J.): 物理学と考古学(Physics and Archaeology). みずず書房, 94, 1965.
- 26) 東 三郎・村井延雄・新谷 融・藤原滉一郎: 地すべりに関する樹木年代学的考察. 新砂防, 64, 22-34, 1967.
- 27) 東 三郎: 地表変動と指標植物. 水利科学, 56, 55-68, 1967.
- 28) 東 三郎・鈴木 守: 耐埋没性樹種の防災的意義. 日林北支講, 16, 122-125, 1967.
- 29) 東 三郎: 常呂川流域保全調査報告書. 4. 常呂川流域の森林構成と荒廃の特性. 1968.
- 30) 平尾公一: 砂防ダムの堆砂・流出土砂量の研究. 河川, 1968.
- 31) 平尾公一: 流出土砂調査の問題点について. 土木技術資料, 10・11, 1968.
- 32) 平尾公一: 砂防調査のまとめ方. 土木技術資料, 11-5, 9-15, 1969.
- 33) 平尾経信: 洪水後の河原の植生. 日林誌, 23, 8-13, 1941.
- 34) 北海道開発庁: 5万分の1地質図・樽前山. 1957.
- 35) 北海道開発庁: 5万分の1地質図・十勝岳. 1963.
- 36) 北海道地下資源調査所: 5万分の1地質図・白老, 1953.
- 37) 市川正巳: 狩野川上流域における山地崩壊と水害. 地理評, 33, 111-121, 1960.
- 38) 市瀬由自: 山崩れの地形学的考察. 一多摩川流域の場合. 資源研彙報, 45, 14-15, 1957.
- 39) 市瀬由自: 写真判読による地すべり地の地形学的研究. 資源研彙報, 62, 13-22, 1964.

- 40) 市瀬由自：地すべり地域における砂礫の生産と流出。資源研彙報, 67, 1966.
- 41) 井上由扶・谷口信一：石狩川源流原生林総合調査報告 IV-I. 林分構成. 1955.
- 42) 石原藤治郎：河川災害研究の問題点。第2回災害科学総合講演会講演論文集, 227-232, 1965.
- 43) 石原安雄：河川災害の予知問題。第1回災害科学総合講演会講演要旨. 201-204, 1964.
- 44) 石原安雄：防災計画。土木計画学シンポジウム, 土木学会土木計画学研究委員会, 67-72, 1967.
- 45) 岩崎敏夫・樋口淳美：土石流災害についての水理学的考察。一昭和42年羽越災害時の鍬江における土石流について一。第5回災害科学総合シンポジウム, 31-32, 1968.
- 46) 岩田悦行：傾斜地の植物群落学的研究。生態学研究, 5, 131-232, 1919.
- 47) 科学技術庁資源局：森林からみた治山治水における河川流域の現況および考察。一築後川流域の一部一。資源局資料, 4, 1959.
- 48) 科学技術庁資源局：石狩川河道変遷調査。資源局資料, 36, 1961.
- 49) 香川 匠：河畔樹林の群落学的研究。生態学研究, 7, 89-107, 1941.
- 50) 梶山正之：流域別荒地および危険地帯の現況。水経済年報, 1968.
- 51) 柿 徳市：土石流の実験的研究。新砂防, 19, 1-5, 1955.
- 52) 柿 徳市：流砂量と砂防計画について。新砂防, 31, 19-22, 1958.
- 53) 金子 佑・新谷 融：様似町地すべり地内集水井戸の水位変動と降雨の影響について。日林北支講, 15, 50-52, 1966.
- 54) 春日屋伸昌：河底横断曲線の年間変動。土木学会第22回年次学術講演会講演概要, 15・1-15・2, 1967.
- 55) 河田五郎・片岡 順・竹田泰雄・山田正治：根尾川流域における崩壊地調査。新砂防, 66, 1-4, 1967.
- 56) 河田 杰：森林生態学講義。養覧堂, 1932.
- 57) 建設省中部地方建設局静岡工事事務所：安倍川上流部崩壊地調査報告書。
- 58) 木村弘太郎：砂防計画の発展のあゆみ。土木技術資料, 11-5, 3-8, 1969.
- 59) 木村正昭：砂防事業の問題点と将来の方向。土木技術資料, 11-5, 1-2, 1969.
- 60) 木下良作：サビ川における砂礫堆と掃流うねりの現象について。新砂防, 19, 13-21, 1955.
- 61) 木下良作：河床における砂礫堆の形成について。土木学会論文集, 42, 1957.
- 62) 木下良作：河川砂礫堆の移動性について。新砂防, 42, 1961.
- 63) 気象協会北海道地方本部：北海道の気候。1964.
- 64) 小出 博：赤城火山の崩壊並びに土石流。地学雑誌, 669, 59-63, 1948.
- 65) 小出 博：日本の地すべり。東洋経済新報社, 1955.
- 66) 小出 博：山崩れ。古今書院, 1955.
- 67) 小出 博：日本の水害。一天災か人災か一。東洋経済新報社, 1955.
- 68) 公害と防災編集委員会：風水害。自然災害・公害対策技術シリーズ, 白亜書房, 1966.
- 69) 小倉晴雄：破砕帯崩壊地源流部における土石流の考察について。第7回治山研究発表会論文集, 29-36, 1968.
- 70) 栗田精一：河原植物群落の生態学的研究。一特に洪水が植群に及ぼす影響について。生態学的研究, 9, 125-133, 199-223, 1943.
- 71) 黒田和男：土砂生産流出の連続性と周期性について。新砂防, 68, 7-9, 1968.
- 72) 町田 洋：安倍川上流部の堆積段丘。一荒地にみられる急速な地形変化の一例一。地理評, 32, 520-531, 1959.
- 73) 町田 洋：荒地河川における侵食過程。一常願寺川の場合一。地理評, 35, 157-174, 1962.
- 74) 町田 洋：姫川流域の一溪流の荒地とその下流部に与える影響。地理評, 37, 477-486.
- 75) 町田 洋：山崩れによる河相の変化について。一地形学から砂防工学に対する資料一。地理評, 37, 288-289, 1964.
- 76) 町田 貞：河岸段丘。一その地形的研究一。古今書院, 1963.
- 77) 真鍋大覚・川勝紀美子：屋久杉の年輪から解析された古代気象の永年変化と大風の変遷。九大演集報, 22, 127-166, 1968.
- 78) 松井善喜：駒ヶ岳爆発後11年間における植物遷移。昭和15年度日林春季大会講, 47-57, 1940.
- 79) 松井善喜・毛利勝四郎・佐々木松五郎：弟子屈地方の河畔林の構成と成長。日林北支講, 4, 18-19, 1954.
- 80) 三野与吉：地形入門。古今書院, 86-90, 1961.

- 81) 宮脇 昭: 植物の我慢くらべ。一生物は好きなところで生活できるか。科学朝日, 1968. 11.
- 82) 森田 浩: 洪水による河岸侵食および河床の堆積について(序報)。一河岸侵食および河床堆積の物理的条件一。文部省特定研究東北地区研究班「東北地域災害研究報告(昭和43年度)」, 1969.
- 83) 村井延雄・東 三郎・藤原晃一郎: 羊蹄山ガリ調査(1)。日林北支講, 8, 22-24, 1959.
- 84) 村本嘉雄: 河川の蛇行特性。一日高川の蛇行形態と砂礫の特性一。第3回災害科学総合シンポジウム論文集, 32-33, 1966.
- 85) 村野義郎・高野雄介: 鳥取県日野川流域の砂礫流出率。新砂防, 41, 10-18, 1961.
- 86) 村野義郎: 山地における砂石の生産に関する研究。土研報告, 114, 1-46, 1962.
- 87) 村野義郎・原田義博・泉 岩男: 十勝岳の土石流に関する調査報告。土研報告, 1965.
- 88) 中村 純: 花粉分析。古今書院, 1967.
- 89) 中野尊正: 日本の地形。築地書館, 1967.
- 90) 中山政一・今村遼平・川合恒孝・吉岡良郎: 河床変動調査における航空写真の利用。写真測量, 6, 169-176, 1967.
- 91) 難波宣士・川口武雄: 山地流域からの土砂流出に及ぼす諸因子とくに森林の影響。林試研報, 173, 93-116, 1965.
- 92) 難波宣士: 予防治山。日林協, 169-176, 1966.
- 93) 日本河川協会: 建設省河川砂防技術基準。1958.
- 94) 新沢直治: 崩壊と堆積。新砂防, 9, 5-7, 1952.
- 95) 新沢直治: 砂防計画試案。新砂防, 10, 16-25, 1953.
- 96) 西沢義親・高瀬信忠・射場正和: 黒部川流出土砂調査に関する研究。土木学会第22回年次学術講演会講演概要, 64・1-64・2, 1967.
- 97) 西川 泰: 日本の災害に関する時代区分研究。応用地質, 9, 3, 129-136, 1968.
- 98) 猶原恭爾: 阿武隈川河原植物群の生態学的研究。生態学研究, 2, 3, 1936, 1937.
- 99) 猶原恭爾: 植物生態学より見たる本邦河川の植物群落。土木学会誌, 22, 1936.
- 100) 猶原恭爾: 急流河川における河原植物の群落学的研究。植物生態学会報, 1, 1951.
- 101) 沼田真編: 植物生態野外観察の方法。築地書館, 1966.
- 102) 萩原貞夫: 水害と治山。水利科学研究所, 1966.
- 103) 大石道夫・榎本 真: 砂防における地形調査試案(II)。新砂防, 62, 1966.
- 104) 大石道夫: 土砂生産の連続性と周期性について。新砂防, 68, 1968.
- 105) 大矢雅彦: 諫早水害にみられる洪水の地域性。地理評, 33, 10, 1960.
- 106) 尾張安治: 土石流調査委託報告書。1968.
- 107) 尾崎雅篤・伊藤彰彦: 8・17豪雨災害およびバス転落事故について。地すべり, 14, 34-40, 1968.
- 108) 小沢今朝芳・中村 博: 十勝岳爆発20年後の植生。北方林業, 6, 1949.
- 109) 林業試験場北海道支場生態学談話会: エゾマツ・トドマツ天然林の生態と取り扱い。わかりやすい林業研究解説シリーズ, 27-32, 1968.
- 110) 林野庁治山課: 荒廃危険地域の判定法。一荒廃危険地対策調査第1部一。1968.
- 111) 林野庁治山課: 羽越水害における山地災害の実態と治山対策に関する調査報告書。1969.
- 112) 砂防学会(シンポジウム): 土砂流出について。新砂防, 62, 26-34, 1966.
- 113) 砂防学会(シンポジウム): 生産土砂量と流砂量について。新砂防, 66, 24-33, 1967.
- 114) 災害科学総合研究班: 災害科学の成果とその問題点。1968.
- 115) 坂井三吾: 樽前山一帯のエゾマツ天然林の成立について。御料林, 33, 26-45, 1931.
- 116) 佐藤武夫・奥田 譲・高橋 裕: 災害論。勁草書房, 1964.
- 117) SCHIMPER, A. F. W.: Pflanzengeographie auf Physiogischer Grundlage. 192-193, Jena, 1908.
- 118) SCHMITHÜSEN, J.: Allgemeine Vegetations Geographie 240-242, Berlin, 1968.
- 119) 霜島重雄: 羽越災害における土石流について。新砂防, 68, 14-16, 1968.
- 120) 森林保全研究会: 森林保全に関する多摩川水系総合調査報告書。1953.
- 121) 森林保全研究会: 野呂川水系総合調査報告書。1957.
- 122) 森林植物同好会: 北海道森林植物写真図譜 II。木本編。1955.
- 123) 静岡県: 富士山大沢崩対策 I 1959, II 1960, III 1961.

- 124) 須賀堯三・石崎勝義：河川の局所洗掘。土木技術資料, **9**, 458-466, 1967.
- 125) 多田文男：自然環境の変貌。一平野を中心として。東京大学出版会, 1965.
- 126) 高田享一：中小河川の災害と対策。第2回災害科学総合講演会講演論文集, 1965.
- 127) 高橋正佑：河床れきの流送に関する実験的研究(第2報)。新砂防, **62**, 1-14, 1966.
- 128) 高村舜介：土砂生産の連続性と周期性について。新砂防, **68**, 10-11, 1968.
- 129) 高野秀夫：地すべりと防止工法。91-103, 共立出版, 1960.
- 130) 武居有恒・福島義宏：荒廃山地における流出量及び流出土砂量。第4回災害科学総合シンポジウム論文集, 65-66, 1967.
- 131) 竹内 亮：樽前火山帯における植物景観の変遷について。植物学雑誌, 161-181, 1923.
- 132) 竹内 亮：植物利用環境測定法。養覧堂, 1936.
- 133) 田中館秀三：十勝岳爆発概報。大雪山調査会, 1926.
- 134) 田中 茂：六甲山南側斜面の崩壊 第1報。昭和42年7月豪雨による災害の総合的実態調査。57-58, 1968.
- 135) 谷 勲：土石流(山津波)について。水利科学, **60**, 109-126, 1968.
- 136) 館脇 操：十勝岳山麓の植物。1950.
- 137) 館脇 操：支笏湖を中心とする森林植生。北大農学部植物学教室, 1961.
- 138) 館脇 操・伊藤浩司・遠山三樹夫：カラマツ林の群落学的研究。北大演報, **24**・1, 45-54, 1965.
- 139) 天然林研究グループ：北海道天然林の林型からみた更新と枯損。林試道支場年報(1966), 185-201, 1967.
- 140) 土屋義人・道上正規：河床砂礫の粒度分布特性について。土木学会第23回年次学術講演会講演概要, 159-160, 1968.
- 141) 土屋昭彦：河道計画上の諸問題。土木技術資料, **9**, 450-457, 1969.
- 142) 土屋昭彦：河床変動に関する研究。河川, **263**, 28-46, 1968.
- 143) 栃木省二：土石流の分類について。第1回災害科学総合講演会講演要旨, 167-168, 1964.
- 144) 十勝岳爆発罹災救済会：十勝岳爆発災害史。1929.
- 145) 上田弘一郎：造林と地床植物。林業解析シリーズ, **41**, 1952.
- 146) 和田英夫・他：異常気象。講談社, 1965.
- 147) 鷲屋蟄竜：荒廃河川処理の一例としての常願寺川改修計画。新砂防, **6**, 1951.
- 148) 渡瀬正三郎：十勝岳の爆発と水害の原因。地学雑誌, **38**, 503-513, 1926.
- 149) WOLMAN, M. G. and EILER, J. P.: Reconnaissance study of erosion and deposition produced by the flood of August 1955 in Connecticut. Trans. of A.G.U. **39**, 1-14, 1958.
- 150) 山口岩介：山地災害の現況と対策。水利科学, **56**, 15-32, 1967.
- 151) 山本三郎編：河川工学, 朝倉書店, 1964.
- 152) 矢野勝正：災害の基本理念について。第1回災害科学総合講演会講演要旨, 181-191, 1964.
- 153) 矢野勝正・他：土砂災害の実態調査。台風26号による災害の実態調査報告書, 1-77, 1967.
- 154) 矢野勝正・土屋義人・道上正規：呉市の崩壊。昭和42年7月豪雨による災害の総合的実態的研究, 51-55, 1968.
- 155) 矢野勝正・土屋義人・春山俊樹：掃流砂礫の Saltation について。土木学会第23回年次学術講演会講演概要, 1968.
- 156) 矢野勝正・大同淳之：急傾斜水路における土砂移動の形態。土木学会第23回年次学術講演会講演概要, 1968.
- 157) 矢野義男：砂防調査および計画。山海堂, 1968.
- 158) 安田禎輔：土石流に関する基礎的研究。新砂防, **54**, 23-26, 1963.
- 159) 吉井義次：火山植物群落の研究。生態学研究, **5**, 203-217, 277-290, **6**, 59-72, 146-160, 1939-1940.
- 160) 吉川秀夫：土砂流送と河川災害の関連。第4回災害科学総合シンポジウム論文集別冊, 1967.

Summary

Lately in Japan, damages by bed load movement have been occurred very often and may increase more and more as development will progress into areas of interior among mountains and upper reaches of drainage basins. Forecast of the damages is severely needed as it of flood damages, earthquakes and other natural disasters.

Studies of bed load movement are necessary for protection of objects such as lives, equipments, establishments and others from damages caused by bed load movement and must be done not in long time scale as geological age but in short time scale as a century or a half century.

The author studied about the method of tree rings for determining ages of the past bed load movement and the processes in the torrential rivers which had repetitions of movements during the past 50 or 100 years and might have some regularities in the repetitions.

1) Terrace deposits which had 1 to 10 meters' height from river bed and 1 to 4 surface floors, were observed in the torrential rivers' courses. It was considered that numbers of surfaces indicated numbers of times of movement occurrences at the deposit's area and might be relative time information of the processes of bed load movement and erosional process of the river in the past.

2) On the terrace deposits, natural even-forests were formed with birches (*Betula Ermani*), alders (*Alnus Maximowiczii*, *Alnus hirsuta*), willows (*Salix sachalinensis*), poplars (*Populus Maximowiczii*), mountain ashes (*Sorbus commixta*), firs (*Abies sachalinensis*), pines (*Pinus pumila*) and others. When the deposits had 2 to 4 floors, each surface had a formation of even-aged forest and the surface was higher, the age of forest was older. In accord with visual inspection, height of trees was drawn a distinction from the lower surface and higher surface.

3) On the landslides' surfaces which had been exposed by landslide movement natural even-aged forests were investigated.

4) Natural even-aged forest appears after natural exposure of land surface such as flood, mudflow, avalanche of detritus, landslide and etc. or artificial work as road cutting, forest cutting, grazing and others.

5) On the excavated soils by road cutting in 1961, even-aged forest of 6 years was investigated in 1968. On the deposit in the river course which had been formed by bed load movement in 1962, even-aged forest of 5 years was observed in 1968. It was considered that invasion of trees might be done soon after exposure of land surface.

6) It was reasoned that tree rings were valuable as indicators of the past bed load movements and numbers of tree rings suggested the past ages of movements. Tree rings of even-aged forest were in short time scale of 50 or 100 years and may be applied as the better method for determining ages and progress of the past movements more than the radioactive method or pollen analysis.

7) Ages of the past bed load movements in the torrential rivers were determined by the tree rings method.

8) Deposition was more affected by river width than longitudinal gradient. Deposits were formed at wide area of river width which was combined with upper narrow area

and lower narrow area. In wide area deposition and transportation were acted, and in narrow area only transportation was acted. The author illustrated a river width curve as variation of river width. Deposits were formed in the peaks of river width curve and numbers of deposits in constant distance were reflected by numbers of the peaks of the curve.

9) Relations between ages of deposits and relative distance were analyzed and illustrated as the processes of bed load movements in the torrential rivers. Frequency of movement is one of indicators to analyze the progress of movement. It was different from individuality of the river which was caused by the past geological movement, in torrential rivers once 6 years and in the others once 50 years.

10) Distance between the same age's deposits was about twice to four times to distance between the all age's deposits. It was assumed that bed load movement might be acted mutually at intervals of about 200 to 800 meters.

11) The author analyzed variations of the deposition mass curve, on the assumption that deposition mass curve was similar to river width curve as shown in Fig. 16. Four types of movement were modeled as variation of wave of the curve, mutual type, progressive type, regressive type and identical type, the first was estimated as a fundamental type of movement as shown in Fig. 17.

12) Foreknowledge of damages due to bed load movement and occurrence of movement may be possible by analyzing processes of movement in the erosional development of the past. Fundamental planning, designing and execution of sabo works and other erosion control works may be presented after it.

13) Investigation of rivers for planning of sabo works or others should be paid attention to individualities of rivers, especially individualities of areas in river course to bed load movement. An objective river must be divided into two types of area, deposition area and transportation area as shown in Fig. 19. After the division, process of bed load movement to protective objects which in the near future may be dangerous, must be investigated by the tree rings method. Distance between protective object and dangerous bed load may be an indicator for determining the rate of danger.



写真一 十勝岳旧噴火口（安政火口） ヌッカクシフラノ川源流
Photo 1. Explosion-crater of Tokachi-dake Volcano, Anseikakō,
the source of Nukkakushi-furano River.



写真二 十勝岳爆裂火口 フラノ川源流
Photo 2. The source of Furano River.



写真一3 溪床堆積土石 (ヌッカクシフラノ川上流)

Photo 3. Deposit of bed load, Nukkakushi-furano River.



写真一4 溪床堆積土石 (フラノ川上流)

Photo 4. Bed load.



写真—5 溪床堆積地の段丘化

Photo 5. Terrace deposit.



写真—6 拡幅部 (堆積地帯)

Photo 6. Deposition at wide area of river width.



写真—7 溪床堆積地への木本侵入 (覚生唐沢 No. 1)
Photo 7. Invasion of trees on the new deposit.



写真—8 溪床堆積地への木本侵入
Photo 8. Invasion of trees on the deposit.



写真—9 溪床堆積地の天然生同齢林分 (ナガバヤナギ8年生)

Photo 9. Natural even-aged forest, 8 ages of Nagabayanagi, on the deposit.



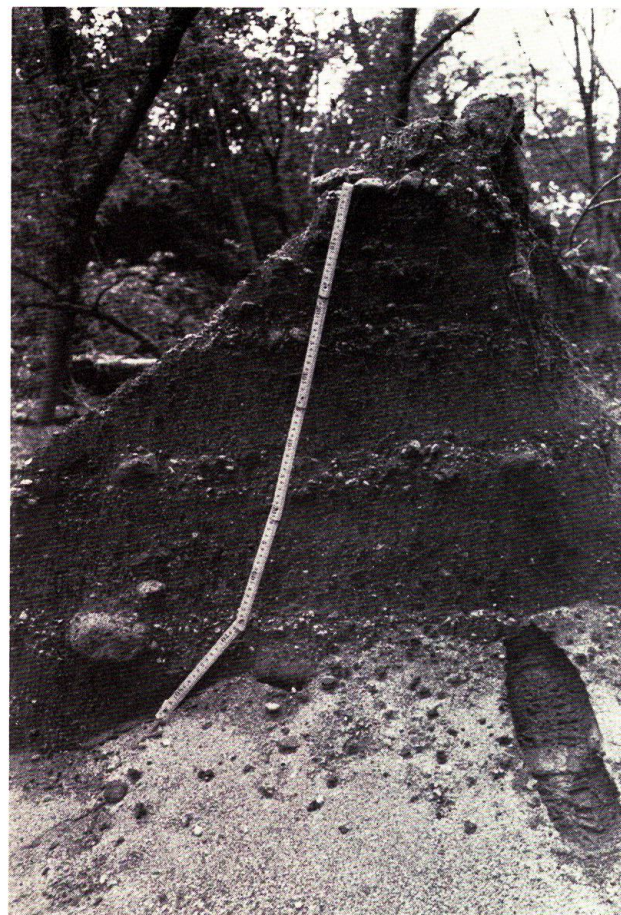
写真—10 樽前川 No. 2 溪床堆積地 (ケヤマハンノキ, ナガバヤナギ5年生)

Photo 10. Even-aged forest of 5 years of Keyamahannoki and Nagabayanagi.



写真—11 溪床堆積地の天然生同齡林分 (ダケカンバ, ミヤマ
ハンノキ 18年生—ヌッカクシフラノ川 No. 15)

Photo 11. Natural even-aged forest on the deposit.



写真—12 溪床堆積地の堆積層 (シジャモナイ沢 No. 1)
堆積傾向の後, 洗掘を受けた。

Photo 12. Repetition of deposition.



写真—13 堆積地形成(12年前)後,再堆積(3年前)し,さらに洗掘を受けた(シジャモナイ沢 No. 1)。ドロノキ, ナガバヤナギ12年生; ミヤマハンノキ, 不定根; 3年生

Photo 13. The deposit was formed 12 years ago, redeposited 3 years ago and scoured last year.



写真—14 同一堆積地への再堆積(かぶり)による2層の樹齡構成

Photo 14. Two storied forest of ages, formed with redeposition.