

道路切土法面における緑化プロセスと表土改良のモニタリング調査

Monitoring Research on Vegetation Process and Surface Ground Improvement in Cutting Slope

鈴木 素之 (すすぎ もとゆき)

山口大学准教授 大学評価室

岡本 憲治 (おかもと けんじ)

磐福山コンサルタント リスクマネジメント事業部

横矢 直道 (よこや なおみち)

磐福山コンサルタント 技師長

山田 守 (やまだ まもる)

SPTEC・YAMADA

1. はじめに

本報告は、道路切土法面に対する緑化工とその後7年間にわたるモニタリングに関する報告である。山口大学および国土交通省中国地方整備局山口河川国道事務所において、2001年度より、沿道環境の改善や自然環境の保全、維持管理コスト縮減等の観点から、主に法面の樹林化に着目し、切土法面の安定性と緑化方法に関する調査・検討が行われ、2003～2004年度にかけて、切土法面の樹林化対策の諸課題の解決を目的として、一般国道2号厚狭・殖生バイパスの道路切土法面において種々の条件での緑化工が施工された^{1),2)}。緑化実験の完了後、地盤の変化ならびに植物の生育に関するモニタリングを継続的に実施しており、2009年度において施工後7年を経過した(口絵写真—1, 口絵写真—2)。

本文では、検討した諸条件の植生工のうち、リサイクル緑化工法の比較実験、苗木設置吹付工を利用した樹林化実験、自然侵入促進工の実験のモニタリング結果を中心に、切土法面における苗木の生育傾向およびその地盤の特性について述べる。

2. 現場およびモニタリング方法

2.1 現場の概要

実験現場の一般国道2号厚狭・殖生バイパス厚狭工区は、山口県山陽小野田市に位置し、最寄りの下関気象観測所によると、年平均気温16.2℃、年平均降水量1685mmである。地形は標高100mほどの小起伏丘陵地を呈し、地質は中生代三畳紀の美祢層群中塚層および山野井層で、強風化された砂岩頁岩の互層が分布する。周辺植生は、群落高10m程度の二次林で、高木層にはアカマツ、アラカシ、コナラ等が優占している。緑化実験の対象法面は2箇所であり、今回の報告はその内の1箇所に関するものである。なお、厚狭・殖生バイパス厚狭工区は2004年3月に供用されている。

2.2 実験方法

検討した四つの実験区A～Dの種類および実験・調査概要を表—1に示した。実験区の配置(平面)および標準断面を図—1、導入植物を表—2に示した。

実験区Aは、法面の最下段で3種類のリサイクル緑化工法と法面の方位の違いにより6実験区を設けた。

表—1 実験区の種類および実験・調査の概要

緑化工に関する実験										地盤強度に関する調査
実験名	実験概要	実験区の設定					実験区名			
		適用工法	実験要因							
A	リサイクル緑化工法の主材料の違いによる緑化植物の生育比較実験	異なるリサイクル材料を使用するリサイクル緑化工法を比較した。実験要因は、主材料（伐採木のチップと現地発生土）、法面の方位（北向きと南向き）とし、6実験区を設けた。	リサイクル緑化工法	現地発生土とチップ混合（厚さ7 cm）	北側法面（南向き）	A1N				
					南側法面（北向き）	A1S				
					現地発生土を主材（厚さ5 cm）	北側法面（南向き）				A2N
					南側法面（北向き）	A2S				
					伐採木チップを主材（厚さ5 cm）	北側法面（南向き）				A3N
南側法面（北向き）	A3S									
B	苗木設置吹付工を用いた切土法面の樹林化手法の確立（その1） 一生育基盤の種類と厚さの比較一	植生基材吹付工に11樹種の苗木を植栽した。実験要因は、生育基盤の種類（有機質系と無機質系）、吹付厚さ（5 cmと10 cm）とし、4実験区を設けた。	有機質系植生基材 無機質系植生基材	吹付厚さ	5 cm	植栽密度※1	B1a			
					10 cm	1本/3㎡	B1b			
					5 cm		B2a			
					10 cm		B2b			
C	苗木設置吹付工を用いた切土法面の樹林化手法の確立（その2） 一植栽密度の違いと微生物感染苗の利用一	有機質系植生基材吹付工（吹付厚さ5 cm）に11樹種の苗木を植栽した。実験要因は、植栽密度（0本、1本/5㎡、1本/3㎡、1本/1㎡）、苗木の違い（一般市販苗と微生物（高活性VA菌根菌）を感染させた苗）とし、7実験を設けた。	有機質系植生基材（厚さ5 cm）	植栽なし			C1			動的コーン貫入試験
							C2a			
				植栽密度	1本/5㎡	一般市販苗	C2b			動的コーン貫入試験
					1本/3㎡	一般市販苗	C3a			
				※1	1本/3㎡	微生物感染苗	C3b			動的コーン貫入試験
					1本/1㎡	一般市販苗	C4a			
						微生物感染苗	C4b			動的コーン貫入試験
				D	自然侵入促進工（種子や苗を導入しない）の試験的適用	周辺から自然に植物が侵入してくるのを待ち受ける自然侵入促進工を試行的に適用した。実験要因は、適用工法（植生シート工と植生マット工）、法面の方位（北向きと南向き）とし、4実験区を設けた。	植生シート工（種子なし）			
		南側法面（北向き）	D1S							
植生マット工（種子なし）		北側法面（南向き）	D2N						動的コーン貫入試験	
		南側法面（北向き）	D2S							

※1 植栽工では、同樹種を2～3本近接して植える果樹を適用した。植栽密度は、植栽1本/5㎡では2本組を11組(22本)/100㎡、植栽1本/3㎡では3本組を11組(33本)/100㎡、植栽1本/1㎡では3本組を33組(99本)/100㎡とした。

ここでは、最下段に位置することから、樹林化は実施せずに草本植物（外来および在来草本）による緑化とした。

実験区 B は、植生基材吹付工を基本工法とし、生育基盤の種類（有機質系と無機質系）、吹付厚さ（5 cm と 10 cm）が異なる 4 実験区を設け、11 種の樹木苗（コンテナ苗樹高 50 cm 程度）を 1 本/3 m² 当たりの密度で植栽した。この実験区では樹林化に適する生育基盤の質や厚さを検証した。

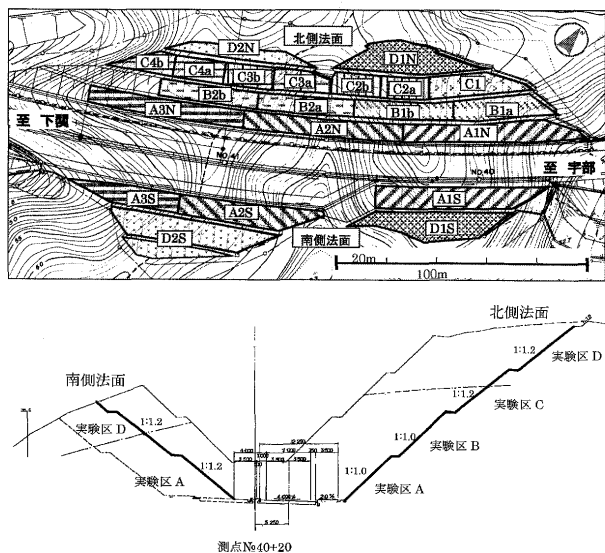
実験区 C は、有機質系植生基材吹付工（吹付厚さ 5 cm）を基本工法とし、植栽密度（0 本、1 本/5 m²、1 本/3 m²、1 本/1 m²）、苗木の違い（一般市販苗と微生物（高活性 VA 菌根菌）を感染させた苗）が異なる 7 実験区を設けた。植栽苗は実験区 B と同様 11 樹種である。ここでは、植栽密度と樹林化完成速度などについて検証した。

なお、実験区 B と C における植栽工は、同樹種を 2 ～ 3 本近接して植える単植を適用した。植栽密度は、植栽 1 本/5 m² では 2 本組を 11 組（22 本）/100 m²、植栽 1 本/3 m² では 3 本組を 11 組（33 本）/100 m²、植栽 1 本/1 m² では 3 本組を 33 組（99 本）/100 m² とした。

実験区 D では、種子や苗を導入しないで周辺から自然に植物が侵入してくるのを待ち受ける自然侵入促進工を試行的に適用し、適用工法（植生シート工と植生マット工）、法面の方位（北向きと南向き）が異なる 4 実験区を設けた。

2.3 植生のモニタリング方法

植生に関するモニタリングは、実験区全体の植被率、植栽木の生存率および樹高とした。植被率は、実験区のできる限り正面となる位置から目視にて植物で覆われている割合を百分率で表した。このとき、実験区 B と C では植栽木による植被率と播種植物による植被率と分けて測定した。植栽木の生存率は、実験区内に導入した植栽木全数の生存を確認して生存率を算出した。樹高は、モニタリング木にナンバリングをあらかじめ施し、平均樹高を算出した。



図－1 実験区の配置（平面）および標準断面

2.4 表層土のモニタリング方法

植栽密度が異なる実験区 C と自然侵入促進工を実施している実験区 D の表層土の強度の経時変化を比較することにより、根系が表層土の強度に及ぼす影響を把握する目的で軽量動的コーン貫入試験を実施した（口絵写真－3）。測線は、実験区 C1（測線 1）、C2（測線 2）、C3（測線 3）、C4（測線 4）、D1N（測線 5）、D2N（測線 6）に 1 本（各 20 m）ずつ設定し、各測線に 5 m 間隔で基準地点 A～E を設置した（口絵写真－3）。このとき、測線は地山状況に左右されないように、法面の中腹部に設置した。この基準地点から 1 m 以内の範囲で貫入試験を行うこととし、貫入深さは 50 cm までとした。なお、貫入試験は、2009 年 1 月とその 9 ～ 12 カ月後の 2009 年 10 月と 2010 年 1 月の 2 回実施した。

3. モニタリング結果および考察

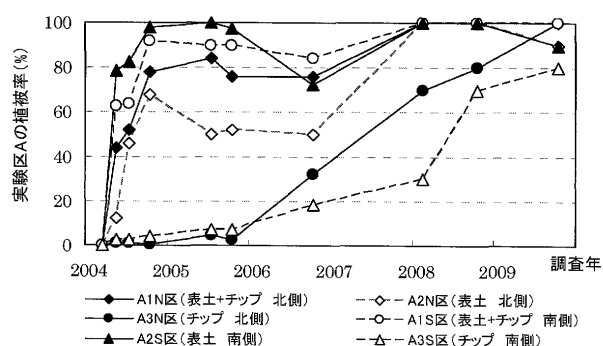
3.1 植生のモニタリング結果

(1) 実験区 A の植被率の変化

実験区 A の植被率の変化を図－2 に示す。6 実験区のうち、A1N、A2S、A2N、A1S の 4 実験区では、施工 1 年後において植被率が約 70% 以上となり、植物でほぼ覆われた。その後、A2N の植被率が一時的に低下する傾向が見られたが、施工 5 年 7 カ月経過した 2009 年 10 月時点で植被率は 90% 以上を維持している。しかし、A3N、A3S の 2 実験区では、施工 2 年 7 カ月経過した 2007 年 10 月においても植被率が 30% 以下で推移した。その後、徐々に植被率は上昇し、施工 5 年 7 カ月経過時に 80% 以上となった。なお、優占植物は、A1 と A2 では導入植物のトールフェスク、A3 は侵入植物のエノコログサ、コセンダングサなどである。A3 は、伐採木のチップを主材とする工法であるが、初期生育がとても遅い。この結果から、リサイクル緑化工法では、工

表－2 各実験区の導入植物

実験区名	播種植物		植栽木（コンテナ苗 樹高 50 cm 程度）	
	外来草本	在来草本	常緑樹	落葉樹
A	2 種 トールフェスク、 ケンタッキーブルーグラス	2 種 メドハギ、 ヨモギ	なし	なし
B, C	2 種 センチビートグラス、 ケンタッキーブルーグラス	2 種 メドハギ、 ヨモギ	6 種 ナワシログミ、 ヤブツバキ、 ウバメガシ、 ネズミモチ、 マサキ、 トベラ	5 種 ムラサキシキブ、 ナツグミ、 イヌビロ、 ガマズミ、 ウツギ
D	なし	なし	なし	なし



図－2 実験区 A の植被率の変化

報 告

法（主材料）の違いによって緑化完成速度が大きく異なること、優占植物が異なる傾向が認められた。

(2) 実験区 B の植栽木の生存率および平均樹高

実験区 B では、施工 1 年目に播種で導入したセンチピートグラスで実験区全体が覆われた。センチピートグラスは、草丈が短い（20～30 cm）草本で、植栽木はセンチピートグラスの被圧を受けることなく伸長していた。そのような環境で生育した施工 6 年 7 カ月後の植栽木 11 樹種の生存率と平均樹高を図-3 に示す。

生存率は、多くの樹種で 80% 以上を維持している。枯死が目立つのは、ヤブツバキ、ガマズミの 2 樹種である。この 2 樹種の生存率は、最も良好な実験区では約 60%，最も不良な実験区では 0% とすべてが枯死した。また、ナツグミの生存率は、B1a および B1b（有機質系）> B2a および B2b（無機質系）の傾向が見られる。無機質系において生存率が低い傾向は、ナツグミの他に、ヤブツバキ、ネズミモチ、ガマズミ、ウツギにおいても同様である。

平均樹高は、最も大きく伸長している樹種のウバメガシで 3.5 m を超えている。他の多くの樹種は、伸長が早い実験区では 2～3 m となり、遅い実験区では 1 m を超えた程度である。なお、生育基盤の厚さ（5 cm と 10 cm）の違いによる樹高の差は明確ではない。しかし、

ウバメガシ、ネズミモチ、マサキ、トベラ、ムラサキシキブ、イヌビワ、ウツギは B2a（無機質系の厚さ 5 cm）において、他の実験区よりも明確に平均樹高が低い傾向が見られた。苗木を利用した法面の樹林化では、生存率の低い樹種がある。また、無機質系植生基材の 5 cm 厚さでは樹高の生長の緩慢な樹種が多い傾向が認められた。

(3) 実験区 C の植栽木による植被率の変化

実験区 C は、実験区 B と同様に、施工 1 年目に播種で導入したセンチピートグラスによって実験区全体が覆われ、その上層で植栽木が伸長していた。実験区別の植栽木の植被率の変化を図-4 に示した。これは、実験区全体の植被率ではなく、植栽木による植被率（以後、樹林化率と表す）である。

C4a と C4b は、施工 5 年 7 カ月後において、樹林化率 100% となった、つまり、実験区全体が樹木で覆われた。実験区 C2a、C2b、C3a、C3b では、施工 6 年 7 カ月後で樹林化率は 60～70% であった。なお、この実験区では、一般市販苗と微生物感染苗を比較しているが、その差異は明確ではなかった。微生物資材は、有用な資材ではあるが、有機質系植生基材吹付工のような肥沃な生育基盤では、その効果が発揮されなかったようである。この実験結果より、切土法面全体を植栽木で被覆するためには、植栽密度 1 本/1 m²（3 本組の巣植えの 33 組）

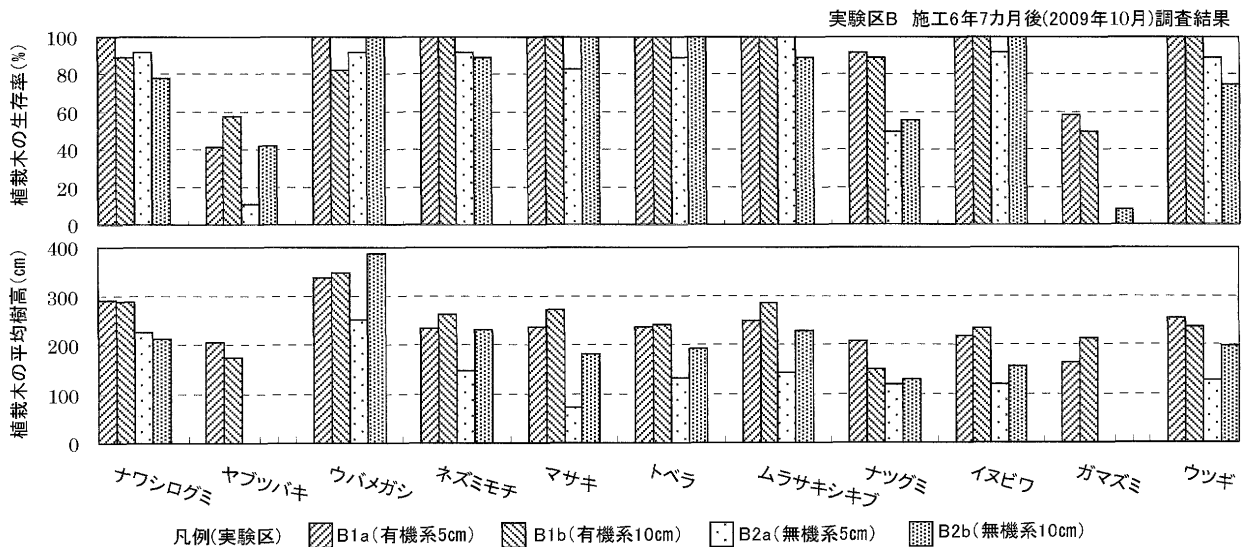


図-3 実験区 B の植栽木 11 樹種の生存率および平均樹高の実験区比較（施工 6 年 7 カ月後 2009 年 10 月調査）

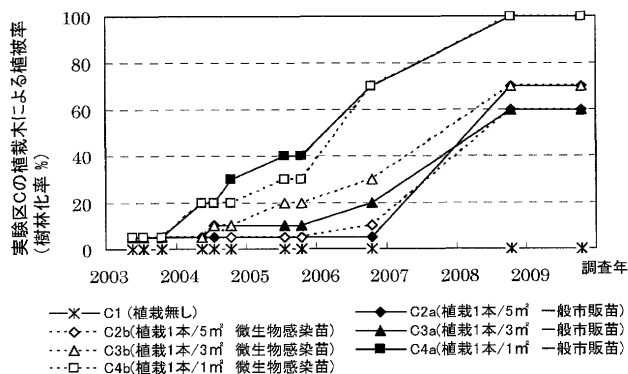


図-4 実験区 C における植栽木による植被率（樹林化率）の変化

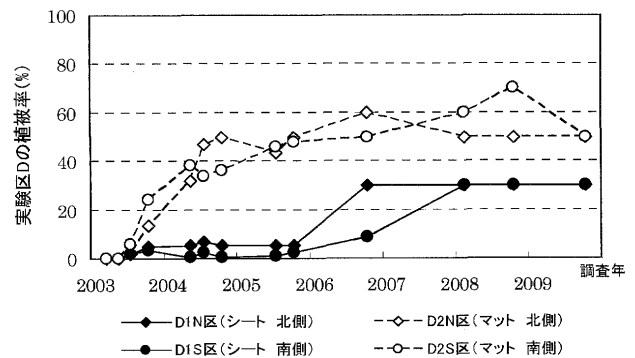


図-5 実験区 D の植被率の変化

で5年必要と判断できる。それ以下の植栽密度では、5年以上必要となる。なお、現地を見ると、樹林化率60～70%は、ところどころに地表(草本)が見える状態で、植栽木が生産した種子の実生が多く確認できた。また、周辺からの自然侵入が期待できる空間でもある。法面の樹林化対策として、全面樹林化を目指すのではなく、部分樹林化も有効な対策と考えられた。

(4) 実験区 D の植被率の変化

実験区 D は、植物を一切導入していない自然侵入促進工である。この実験区の植被率の変化を図—5 に示した。D1N, D1S (いずれも植生シート) では、施工後3年間はほぼ裸地状態であった。施工後4年頃から侵入植物が目立つようになり、施工6年7カ月後でようやく植被率30%となった。D2N, D2S (いずれも植生マット) では、施工2年目から侵入植物が目立ち始め、植被率が40%程度となった。その後、若干、植被率の増加は見られるが、施工6年7カ月後で植被率は50%であった。いずれの実験区も法面の方位による大きな差異は見られなかった。また、主な侵入植物は、木本植物のアカマツ、アカメガシワ、ヒサカキ、ヤシャブシ、ヤマグワ、ヤマハゼ、在来草本植物のススキ、メドハギ、帰化・外来草本植物のセイタカアワダチソウ、メリケンカルカヤなどであった。

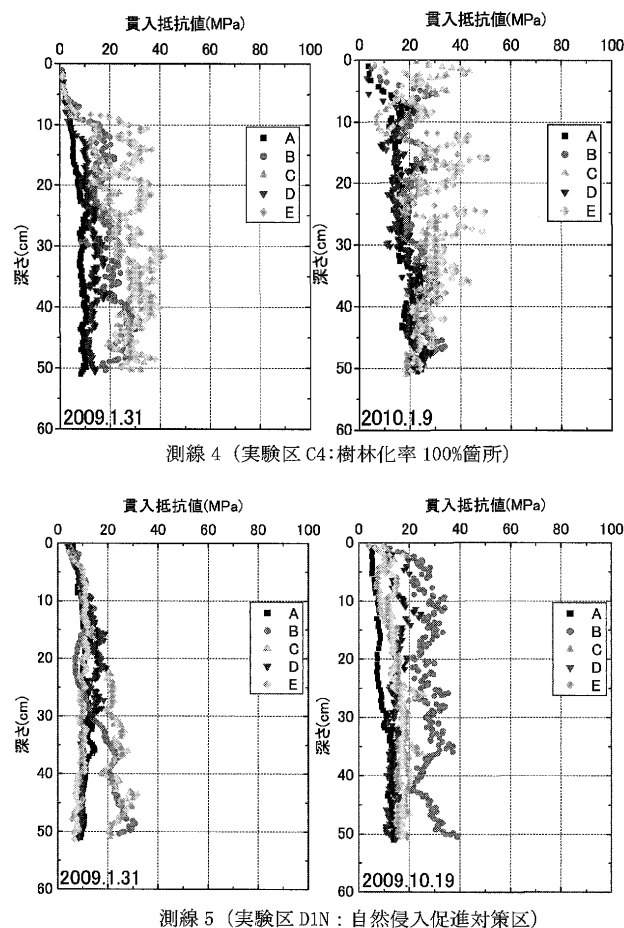
この実験結果より、自然侵入促進工では、適用工法によって施工後6年7カ月経過しても植被率30%程度と裸地に近い状態となる場合があることを明確にした。これは、道路法面として侵食防止や景観保全などにおいて好ましい状態ではない。自然侵入促進工は、その適用条件および適用工法を慎重に選定する必要がある。

3.2 表層土の貫入抵抗のモニタリング

2009年と2010年の貫入試験結果に強度差が多少なり見られた測線4と測線5の貫入抵抗の深度分布を図—6 に示す。ここで、今回用いた試験機は貫入抵抗値を貫入量1mm 間隔で連続的に計測できるが、小礫等の存在により極端に大きな値を示すことがある。今回はその影響を小さくするために前後5個のデータに対する移動平均の貫入抵抗 q_d を用いた。 q_d は地山が軟岩であるため全体的に高く、植栽無しの実験区(測線5)よりも植栽有りの実験区(測線4)のほうが q_d の高い傾向が見られた。測線4は植栽密度が最も高い実験区で、 q_d が大きな値を示している。また、9カ月(2009年10月)～1年後の試験(2010年1月)では、測線4と測線5はともに貫入試験箇所 A～D により q_d の値の深度方向の分布状況が異なる。すなわち表層部のみならず深い箇所も強度が異なっていることから、この強度変化は経年変化よりもむしろ、貫入箇所のわずかな違いによる地山強度の違いに起因するものと考えられる。

4. ま と め

施工から7年経過した法面のモニタリング調査により、植栽木の枯死は主に施工当年および施工翌年に発生



図—6 貫入抵抗の深度分布の経年変化

し、その傾向は樹種によって異なることが明らかとなった。また、樹高成長については、生育基盤の種類や厚さによって、大きく異なることが明らかになりつつある。また、経年変化による植物繁茂と表層土の強度の関係については、今後も調査を継続して、その結果から植生による軟岩斜面の風化抑制効果を見極める必要があると考える。最後に、切土法面での樹木の生育データは全国的にも非常に貴重なデータであるといえ、地域性を考慮した緑化マニュアルの作成や維持管理を含めた緑化工の事後評価などに利活用できると考えている。

謝 辞

本研究は、国土交通省中国地方整備局山口河川国道事務所との受託研究として遂行したものである。ここに記して、関係各位に対して謝意を表す次第である。

参 考 文 献

- 1) 山田 守・原田 信・岡本憲治：山口県瀬戸内地域の切土のり面において苗木設置吹付工で導入した11樹種の生育特性，日本緑化学会誌，Vol. 33, No. 1, pp. 3～8, 2007.
- 2) 山田 守・原田 信・岡本憲治：山口県瀬戸内地域の切土のり面における植生誘導工の実施事例，日本緑化学会誌，Vol. 33, No. 1, pp. 199～202, 2007.

(原稿受理 2010.5.14)