

表土復元工法のその後の経過と評価について

小林亜理沙*¹・阿部廣史*²・竹内美晴*³・尾畑和彦*⁴

Progress and Evaluation of Methods for Preservation and Replacement of Topsoil

KOBAYASHI Arisa, ABE Hirofumi, TAKEUCHI Miharu and OBATA Kazuhiko

This study is to apply methods for preservation and replacement of topsoil, and monitor the progress over ten years to analyze the best method to restore topsoil. In public construction works which affect the environment, methods for preservation and replacement of topsoil which protect the ecosystem and promote greenery are currently receiving attention, however evaluation methods have not yet been established. Although it is in the basic study stage, this report will describe the characteristics of natural ground and restored ground based on field investigations and chemical experiments implemented on underground water. The topsoil layer had been considered as disposable because it includes a significant amount of organic waste. The application of methods for preservation and replacement of topsoil is considered to contribute to a decrease in the amount of topsoil disposed.

キーワード：表土復元，植生の復元，復元地盤，現地調査，室内実験

1. はじめに

自然を相手とする土木工事の際、従来は必ずといって良いほど開発・伐採が行われ、多くの表土が削られ、自然再生を困難なものにしている場合が多いと考える。表土と呼ばれている部分は地上から 30～50cm ぐらいの深さの土をいう。表土は土壤生物の栄養源であるとともに、植物にとって重要な無機物を多量に含んでいる。また、表土は熱の吸収力が強く、地温や湿度を高く保つため、土壤生物や微生物の活動が活発になるばかりでなく、地表付近の温度が昼と夜とではほとんど変わらないため、外気の急激な温度差から植物の根を守ることが出来る。

表土が削られた地面は、わずかな雨でも表面の土は流れ、侵食が進み土砂崩れや洪水などの自然災害が発生する原因になる。そればかりでなく、土が沢に流れ込み水中の生態系を破壊する。また、表土を失った土壌では栄養分や水分

がなくなり、植物の成育が悪くなり生態系が崩れてしまう。一度破壊されてしまった表土は再生する力が弱いので、安定した森林に戻るにはかなり長い時間がかかる。その為、従来は成長の早い外来種の種子を散布することが多く見られたが、この方法ではその地域の生態系が変えられてしまう。そこで生態環境にやさしい、表土復元がある。

表土復元工法とは、工事前に一時保存しておいた表土を復元し、周囲と同じ自然の状態に早く戻るように、緑化を促進させることを目的とした工法である。この工法は現地の植生をそのまま利用することにより自然がより早くもとに戻りやすくする方法と言われている。

表土復元の方法としては主に；

- ① 浅い表土部分だけを採取して保存する方法
 - ② ブロック状の大きな塊で表土を採取して保存する方法
 - ③ 表土を上層・下層に分けて採取・保存する方法
- の3つが行われている。また必要に応じて樹木の移植や、その地域の在来種である草花の種子を散布して緑化を行うこともある。

以上のような方法で実施されている表土復元工法だが、在来種は、外来種と比較して新しく根を定着させるのに長期を要し、繁殖能力が低い場合が多いため、生育は地盤条件により大きく左右されるものと考えられる。実施された

*1 三重大学生物資源学部学生

*2 環境都市工学科教授

*3 株式会社協同測量社

*4 中部電力株式会社

表土復元工法が成功しているか否かを判断するには、その回復状況を確認する必要がある。調査内容としては表土復元地の観察と周辺植生の調査、気象の調査として気温・降水量・積雪量・風・日照の調査、法面の形状の調査として、勾配・斜面方位などの調査、土壌の特性の調査として土壌硬度・土壌酸度などの調査を行う必要がある。

そこでこの研究では、過去10年前頃に長野オリンピックの開催に当たり実施された、上信越高原国立公園に所属する志賀高原を調査対象としており、上記の性質が植生にどのような影響を及ぼすかを調べるため現地調査を実施し、各種の試験を行っている。また、調査地点の植物の種類と植生の状況の調査も行い、これらの調査結果から知ることが出来る地盤の性質が、植物にどのような影響を与え、表土復元が行われた箇所での10年後の復元状態について検討することを目的としている^{1)~6)}。

2. 調査概要

○現地調査

- ・植生 各調査地点において、表土復元が行われた地盤（復元地盤）と、その周辺（在来地盤）にそれぞれ分けて植物を採取している。生育状況の観察のために写真撮影も実施。
- ・地盤の硬度 復元地盤と在来地盤で、ポータブルコーン貫入試験機を用いて貫入試験を行い、貫入深さとコーン支持力を測定している。また、測定した地点の土壌をそれぞれ採取。
- ・地盤中の温度 復元地盤と在来地盤で、10cmの浅い部分と、20cmのやや深い部分を中心にそれぞれ測定。また、各地点における測定時の気温と湿度も測定している。

○室内調査

- ・押し花 現地で採取した植物を地点ごとに分け、電子レンジを利用する押し花メーカーにより押し花を作製している。この押し花は植種調査に利用するとともに、保存資料としている。
- ・土中水の試験
コーン貫入試験を行った地点の土壌試料を用いてpH、電気伝導率(EC値)、塩分濃度の測定を行っている。試料調整方法は、地盤工学会基準⁷⁾の「土懸濁液のpH試験方法」と「土懸濁液の電気伝導率試験方法」を参考にしている。
- ・調査地の標高、勾配、斜面方位
地形図上の等高線で標高、斜面方位を求め、勾配は現場で判断している。

3. 土壌の性質と植生の状態

3.1 室内調査結果

表1 土中水の試験結果

地点	地盤状況	pH	EC μS/cm	塩分 %
I	A：表土復元	4.2	92	0
	B：在来地	3.9	480	0.02
	C：裸地	5.1	44	0
II	D：表土復元	4.6	50	0
	E：在来地	4.2	92	0
III	F：表土復元	3.9	178	0
	G：在来地①	4.1	123	0
	H：自然地②	3.8	470	0.02
IV	I：裸地	4.9	26	0
	J：表土復元	5.4	19	0
V	K：在来地	4.7	79	0
	L：表土復元	4.5	70	0
	M：在来地	4.3	37	0
VI	N：表土直下	5.1	21	0
	O：表土復元	4.4	184	0
	P：在来地	3.9	247	0.01

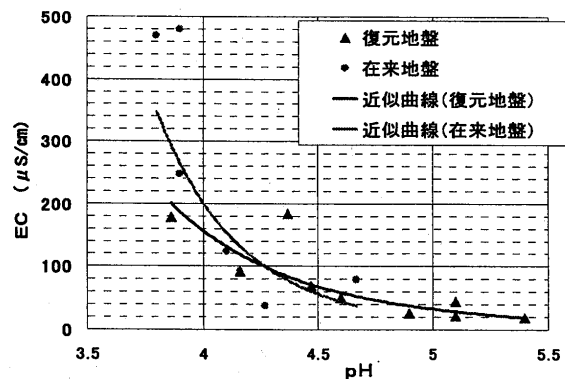


図1 pHとECの関係

土中水の室内試験結果を表1に示す。

各調査地の復元地盤と在来地盤の試験結果を、pHとEC（電気伝導率値）で比較したものを図1に示す。試験結果によりばらつきはあるが、在来地盤は復元地盤に比べてpH値が低く、EC値が高いということがわかる。EC値は土壌中に存在している肥料分の含有傾向を表わすもので、在来地盤の方が栄養分が高いといえる。また、pH値は土壌中のミネラル分の含有量の多さを表わすため、ミネラル分は復元地盤の方が高いといえる。

復元地盤でEC値が特に高い点が2点ある。この2点は地点VIとIIIである。この2点で比較すると、地点VIの方がpH値は高く、地点IIIの方はpH値が低い。IIIの方が土壌の性質は在来地盤に近いといえる。

反対にEC値が最も低く、pH値が高い地点はIVである。その次にEC値が低く、pH値が高いのは地点Vの表土直下と地点Iの裸地であった。

塩分濃度は、表1より、少数の自然地で極僅かに検出されたのみである。そのため、塩分濃度は復元状態の良さを判断する指標として十分でないと考ええる。

地点III付近の沢と地点V・VI付近の沢ではpHが弱アルカリ性を示した。そのほかの沢においても弱アルカリ性を示している。志賀高原の沢は弱アルカリ性を示すものが多いといえる。これは地山が火山性の岩石などで覆われているためと考えられる。

調査地点の標高・勾配・斜面方位の概要を表2にまとめている。地点Vでは斜面が北西に位置しているため、植物が育ちにくい状態にあることがわかるが、地点IVでは斜面が南西に位置しているにもかかわらず、植生状態は良くないと観察された。よって、地点IVではこれ以外の要因が考えられる。

3.2 現地調査結果

現地で採取した植物の植種^{(8), (9)}一覧を表3に示す。左から順番に、各地点で最も多く生育していた植物の順番で並んでいる。この表からわかるように、在来地盤のすべてにチシマザサが確認され、最も多く生育していることがわかる。反対に復元地盤にはチシマザサの代わりにカヤツリグサが最も多く生育しており、在来地盤との植生の違いがみられた。地点III・VIの復元地盤ではチシマザサが一番多

く生育していたため、植生が在来地盤に近い復元状況と考えられる。地点Iの復元地ではこの表に示すもの以外にガンコウランも採取された。

地中の温度を深さを変えて調べた結果を、図2に示す。

表2 調査地点の状況

地点	標高	勾配	斜面方位
I	1440m	急	南南東
II	1540	緩やか	南南東
III	1640	緩やか	南東
IV	1640	やや急	西
V	1620	緩やか	北西
VI	1620	緩やか	南南東

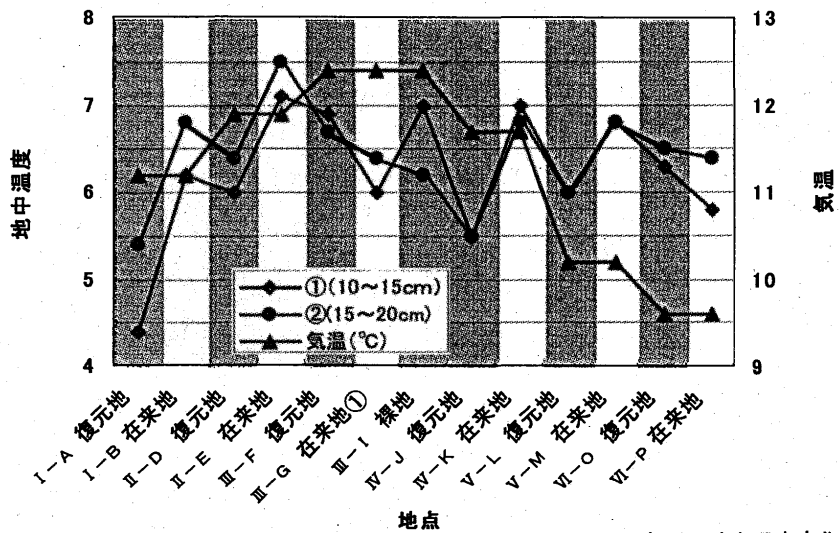


図2 深さ別の地中温度変化

表3 植種一覧

地点:地盤	植物①	植物②	植物③	植物④	植物⑤	植物⑥
I A:復元	カヤツリグサ	チシマザサ	ヒカゲノカズラ	ヒメシダ	コケ	ズダヤクシュ
I B:在来	チシマザサ	カヤツリグサ	イチイ	コケ	シダ	
II D:復元	カヤツリグサ	アカミノイヌツグ	シバ	コケ	チシマザサ	
II E:在来	チシマザサ	カヤツリグサ	シバ	モミジイチゴ	エゾリンドウ	セリ科の植物
III F:復元	チシマザサ	カヤツリグサ	ヤマバコ	ヒカゲノカズラ	コケ	
III G:在来	チシマザサ	シシガシラ	ズダヤクシュ	モミジイチゴ		
IV J:復元	カヤツリグサ	チシマザサ	シシガシラ	ヒメシダ	シバ	コケ
IV K:在来	チシマザサ					
V L:復元	カヤツリグサ	チシマザサ	ヒカゲノカズラ	ガンコウラン	シシガシラ	ノリウツギ
V M:在来	チシマザサ	ズダヤクシュ				
VI O:復元	チシマザサ	ノリウツギ				
VI P:在来	チシマザサ					

地中温度① (10~15cm) は気温や日照条件などに影響されやすく、地点Ⅲの復元地盤では日向になっていたため在来地盤よりも温度が高い。同様に、地点Ⅵの復元地盤では笹が刈られていたため、太陽光が在来地盤よりも地面に届きやすい状況にあり、温度が高いと考えられる。

表土は有機物・水・空気・ガスを含み、外気の急激な温度差から植物の根を守っているため、浅い表層よりも深い地層の方が温かい。したがって、地中温度② (15~20cm) で比較すると、地点Ⅵ・Ⅲでは在来地盤と復元地盤との温度差は小さいが、それ以外の地点では、復元地盤よりも在来地盤のほうが温度が高く、温度差が大きい。その為、地点Ⅲ・Ⅵでは在来地盤の表土に近づいていると考えられる。

地点Ⅲの裸地では測定場所が日向になっていた為、浅い地中の温度は高いと考えられるが、深い地中の温度はそれに影響されず復元地盤よりも低い値がでた。裸地と植生がある地点では深い地層での温度差にも差があることがわかる。

貫入深さとコーン支持力の関係を図3 (在来地盤)、および図4 (表土復元地盤) に示す。在来地盤では地表面は比較的やわらかい土壌で覆われている。また、表土復元地ではやわらかい地層が薄いということが特徴といえる。なお、図中の地点記号は表1の地点・地盤状況に同じ。

地点Ⅲの表土復元地Fと裸地Iを比較すると、Iではコーン支持力が大きく硬いが、Fではコーン支持力が小さく軟らかい地層であることがわかる。また、地点Iの表土復元地盤Aと裸地Cを比較しても、Aの方が表層に軟らかい土壌が堆積しているのに対し、Cでは硬い地層が深くあることがわかる。このように、裸地と植生がある地点において、土壌のコーン支持力が大きいと植物が育ちにくいということがわかった。同様に、植生の生育状況の良い地点Ⅲ・Ⅵの復元地盤と、それ以外の地点の復元地盤を比較しても、生育状況の良い2点は表層が軟らかい層になっており、それ以外の地点は表層が比較的硬い。以上により、コーン支持力の大きさと深さ分布が植生に影響を与えるということがわかった。

3.3 各調査地の状況

調査地点についてまとめると；

地点Ⅰ： 在来地盤には笹(チシマザサ)が多く生育していたが、表土復元が行われた場所は笹の存在がまばらだった。地面がむき出しになっている所も少なからずあり、丈の長い雑草(カヤツリグサ)が一番多く生育していて、コケの生えている所もあった。特に、表土復元の中央部分の植生が一番うすく、自然地に広がるようにして植生が増えていることがわかった。

復元地は斜面勾配が急で植物が育ちにくい環境にある

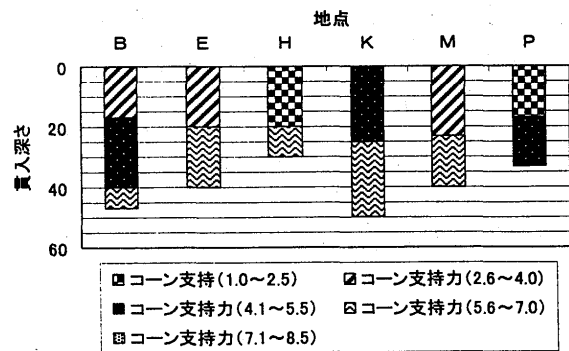


図3 貫入深さとコーン支持力 (在来地盤)

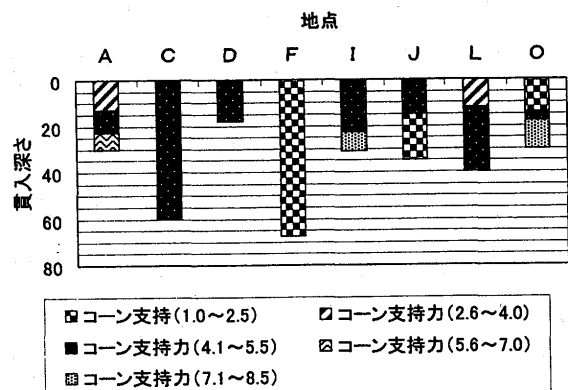


図4 貫入深さとコーン支持力 (表土復元地盤)

が、コーン支持力とpH値が在来地盤の状態に近いため植種は近い。しかし、EC値が在来地盤よりもはるかに低く、肥料分が少ないため裸地がみられる。また肥料分が少ないことで団粒構造が発達できず地中温度も低くなり、植物の根を守ることができない状態にあると考える。

地点Ⅱ： 在来地盤には笹が多く生育していたが、表土復元が行われた場所では笹の存在はまばらであった。地点Ⅰに比べて、裸地は少なかったが地点Ⅰと同様にカヤツリグサが多く生育していた。その他に芝生が一面に生えており、周りの植生と少し違う感じがした。芝生が広い範囲で植生していたため、それ以外の植物が生長にくい状態になっているのではないかと考える。

復元地盤の斜面勾配は緩やかで、斜面方位も日当たりの良い場所にある。またpH値には大きな差は見られないが、EC値で約2倍の差があるため栄養分が少なく、植物が大きく成長しにくい土壌であると考えられる。また、コーン支持力が復元地盤の表土から硬く締まっているため植種が限られ、育ちにくくなっている。

地点Ⅲ： この地点では、地点ⅠとⅡに比べて笹が生育している所が多く、コケが生育している部分も多かった。しかしながら、裸地部分と、植生部分がはっきり分かれており、特に中央部分の植生が薄く、裸地の部分にはやや大き

めの石がいくつか存在した。復元地盤の周辺に近い部分に小山があり、小山には多くの笹が生育しており、植生が在来地盤に近いように思えた。地点ⅠとⅡに比べるとカヤツリグサよりも笹の方が多く生育していた。

復元地盤の斜面勾配は緩やかで、斜面方位も日当たりの良い場所にある。pH値は在来地盤と変わらないが、EC値が在来地盤よりもはるかに低く、肥料分が少ないため裸地がみられる。しかしながら、肥料分が少ないことで団粒構造が発達できず、地中温度も低くなると考えたが、地中温度は在来地盤とあまり差がなかった。したがって、地点ⅢはEC値が低いにもかかわらず、団粒構造は発達していると考えられる。

地点Ⅳ： この地点は、黒く枯れた草が多く生えていて、今までの地点で最も起伏が激しく裸地が多くあり、植物の生育状態は最も悪い状態だった。裸地には地点Ⅲにあったものよりも大きな石が数多くあり、また地点Ⅲと同様に小山が存在し、そこだけ笹が多く生育していた。試料を採取する際に地面を掘り返してみると、地表から約10cmまでは黒色土だったが、それ以下になると黄土色の土に変わった。在来地盤には他の地点と変わらず笹が多く生育していた。

復元地盤の斜面勾配は少し急であるが斜面方位が良い場所にある。pH値、EC値、地中温度が在来地盤と大きく異なるため、裸地も多く、植生・植種も在来地盤とは大きく異なる。コーン支持力においても、復元地盤の方が硬く植物が根を張りにくい土壌であることがわかった。

地点Ⅴ： 地点Ⅳと同様に黒く枯れた草が多く生えていたが、この地点の方が復元地盤に生育している笹の量は多い。しかしながら、地点Ⅳ以外と比べると植生は少なく、特に復元地盤の中心部分が少ない。地点Ⅳ・Ⅴの植生はともによく似ていて、この地点も地面を掘り返してみると、地表から約10cmまでは黒色土であり、それ以下になると黄土色の土に変わる。

復元地盤の斜面勾配は緩やかで良いが、斜面方位が非常に悪い。pH値、EC値、地中温度、コーン支持力は在来地盤と少し差はあるが、大きな差であるとはいえない。この地点では裸地も多く植生・植種も在来地盤とは大きく異なる。この原因として、日照条件の悪さが、一番大きな原因だと考えられる。

地点Ⅵ： この地点の表土復元地盤は一面笹に覆われていて、明らかに今までの地点とは違う植生をしている。裸地もなく、植物の生育状態も非常に良く、笹以外の植種が確認されなかった。

復元地盤の斜面勾配、斜面方位は良い場所にある。それ以外のpH値、EC値、地中温度、コーン支持力においても在来地盤と大きな差はなく、今回調査した中では、この地点が在来地盤に最も一番近づいていると考えられる。

表4 復元状況の評価と順位

順位	植生状況	pH EC	地中 温度	貫入 試験	地点
1	◎	◎	◎	◎	Ⅵ
2	○	◎	◎	◎	Ⅲ
3	○	○	×	○	Ⅰ
4	○	×	×	×	Ⅴ
5	×	×	○	○	Ⅱ
6	×	×	×	×	Ⅳ

4. 表土復元状況の評価

今回の試験・調査で得られた結果より、10年経過後の表土復元状況は、以下のように評価できると考える。

植生状態：

- ◎ 良好 在来地盤に非常に近い
- やや不良 裸地が少ない。在来地の植生に近い。
- ×

EC値、pH値：

- ◎ EC値 100 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) 以上 pH値 4.5 以下
- EC値 100 ($\mu\text{S}/\text{cm}$) 以下 pH値 4.5 以下
- ×

地中温度：地中深さ 15~20cm における在来地盤と復元地盤の温度差で評価。

- ◎ 温度差 0~0.5 $^{\circ}\text{C}$
- 温度差 0.5~1 $^{\circ}\text{C}$
- ×

コーン貫入試験：復元地盤におけるコーン支持力（植物が根をはりやすい浅い地層）の大きさにより評価。

- ◎ コーン支持力 1.0~2.5 kg/cm^2
- コーン支持力 2.6~4.0 kg/cm^2
- ×

以上の評価方法により、各地点における在来地盤の植生への近づき具合に順位をつけると、表4が得られる。

5. まとめ

この研究では、室内試験および現地調査を行い、各試験より得られた結果と、植物の生育状態との関係を調べている。ここで得られた在来地盤と復元地盤の特徴について以下にまとめる。

(1) 在来地盤は復元地盤に比べてpHが低く、ECは高い。したがって在来地盤の方が栄養分は高いが、ミネラル分は

復元地盤の方が高いといえる。これはそれぞれの植生状態に大きく表れている。在来地盤は肥料分の含有量が多く、植物が生育しやすいため裸地がない。しかし、pH値が低く、強酸性の土壌のため生育できる植種が限られ、チシマザサのように植物が単一化している。以上の結論と標高・気象状況をふまえて、在来地盤はポドゾル土壌であるといえる。

(2) 復元地盤では、肥料分の含有量が少ないため、植物が生育しにくく裸地が多い。しかし、pH値が高く、弱酸性の土壌であるためミネラル分が多く植種が多様である。このことから、復元地盤は工事の際、表土を採取し工事終了まで保存している間に、土壌がかき混ぜられ、降雨などにより栄養分が流されたなどの影響によりpH値が高く、EC値が低くなり、ポドゾル土壌ではなくなったと考えられる。

(3) 在来地盤は団粒構造が発達している土壌といえるため、外界の激しい環境変化を直接受けることがなく、土壌は適度な温度、湿度を保つことができる。地中温度(15~20 cm)で比較すると、在来地盤と復元地盤との温度差の小さい方が、在来地盤の表土に近づいているといえる。

(4) 在来地盤に比べて、表土復元地盤は比較的高い支持力が大きく、コーン支持力が段階的に変化しない地点も存在し、表土復元地はやわらかい地層が薄い。これは表土を埋め戻す際に、締め固めすぎたか、下層にあった硬い土壌を上層に持ってきたなどの影響が考えられる。

5. おわりに

標高が高く、植物の生育条件としては厳しい条件にある志賀高原において試みられた表土復元手法が10年後にどのような状況にあるかを調べている。条件の悪さを考慮すると、復元状況はまずまずの成果を挙げていると考えている。また、厳しい条件下でのひとつの指針を提示しているともいえる例である。外来種に頼ることなく、生態系の保護に寄与するこの手法の確立は今後も検討していかなければならない。

ればならない。

なお、植物などの混入した表土層は、有機物を多量に含む土として、従来は廃棄の対象となっていた。表土復元手法の適用は、廃棄物の減量化にも貢献でき、さらに調査データを集積し、この工法のより合理的な手法を確立する必要があると考える。

最後になりましたが、社団法人長野県林業コンサルタント協会の松澤義明氏には、取りまとめにあたり大変貴重なアドバイスを頂きました。ここに記し、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 長野県: No. 49 一般国道 292 号及び(仮)奥志賀公園線道路改築事業に係わる環境影響評価, 1993.
- 2) 長野県: No. 49 一般国道 292 号及び(仮)奥志賀公園線道路改築事業に係わる環境影響評価書 資料編Ⅱ(自然環境編), 1993.
- 3) 長野県土木部 中野建設事務所: 自然と共存する道づくり・志賀ルート(一般国道 292 号および県道奥志賀公園線道路改築事業), 1996.
- 4) Nakano Construction Office Public Engineering Work Department Nagano Prefecture: Toward Ecological Coexistence, The Shiga Route(Road Improvement on route 292 and the Oku-shiga Koensen Prefectural Road), 1996.
- 5) 中部電力: 自然と人間の共生のために(奥志賀分岐線工事記録), 1996
- 6) 長野県自然保護研究所: 長野県自然保護研究所紀要 第4巻, 別冊3, 2001.
- 7) 地盤工学会改訂編集委員会: 土質試験の方法と解説(第一回改定版), 社団法人地盤工学会, 2000.
- 8) 馬場 多久男: 冬芽でわかる落葉樹, 信濃毎日新聞, 2004.
- 9) 馬場 多久男: 葉でわかる樹木, 信濃毎日新聞, 2006.