

重金属汚染と樹木の生長 III

—過剰 Cu 処理された当年生クロマツ苗の発芽、
伸長、肥大生長に及ぼす影響—

安 藤 信

Heavy metal pollution and tree growth III

—Effect of excessive Cu treatment on seed germination,
height growth and diameter growth of one-year-old
Pinus Thunbergii seedlings—

Makoto ANDO

要 旨

過剰 Cu 処理された当年生クロマツ苗の発芽そしてその後の生育に及ぼす形態的な変化を調べた。土壌に処理された CuCl_2 溶液の濃度は 0, 40, 120, 260, 430ppm であった。

結果の概要は、

- 1) 本実験の処理濃度範囲では発芽率自体への影響は少ないように思われるが、発芽苗の土壌からの出現時期の遅れが認められる。
- 2) 高濃度処理においては発芽後根の発達不良から転倒し枯死していく危険性をもつものが多い。
- 3) 子葉、胚軸といった種子のもつ栄養に生長が左右されるものへの Cu の影響は比較的少ないが、その後形成される初生葉、上胚軸さらに普通葉、冬芽と形成時期の遅い器官程 Cu の影響は明らかとなる。
- 4) 根の伸長は過剰 Cu により抑制される。低濃度処理では生育期後半一時的に無処理苗より根の発達がすぐれる。
- 5) Cu の影響は肥大生長より伸長生長に現われやすい。その結果形状比 (樹高/地際直径) は低下する。この傾向は低濃度処理 (処理 3) でも生育初期より認められる。(Fig. 4)

1. はじめに

植物の生長に及ぼす生長阻害物質の影響について樹木を対象に行なわれた研究はいままで比較的少ない^{1), 2), 3), 4)}。本研究は当年生クロマツ苗を用いて過剰重金属による生長への影響を生理生態的に考察したものである。

前報では光合成、呼吸への影響について検討し、当年生クロマツ苗の場合過剰 Cu により光合成速度の低下、呼吸速度の増加、葉量の減少あるいは非同化部分である根の個体重に対する割合の増加が明らかとなった⁵⁾。また植物体内 Cu 濃度変化は、根、地上部非同化部分の新生部位である冬芽、上胚軸で濃度が高まり、胚軸、枯葉、葉の濃度上昇は遅れ、濃度もあまり上昇しないこと、また葉は濃度変化は少ないが落葉という形で過剰 Cu に微妙に反応していることが明らか

となった⁶⁾。本報ではさらに発芽時、その後の生育期間における植物体各器官の形成時期、伸長、肥大生長、形状について観察と測定事項からその生長過程を考察したものである。

研究を実施するにあたり、京都大学農学部堤利夫教授、荻野和彦助教授には研究全般にわたりご指導いただいた。森林生態研究室各位にはいろいろご協力いただいた。栽培実験では農学部附属演習林吉川勝好講師（当時）はじめ職員各位にはいろいろご指導いただきお世話になった。記して深く感謝の意を表したい。

2. 試料及び測定法

1) 栽培法

試料は京都大学農学部附属演習林苗畑（京都市左京区北白川追分町）において 1/5000a のワグナーポットを用いて1975年5月から11月にかけて栽培した当年生クロマツ稚苗である。鹿沼土とバーミキュライトを体積比で1 : 1に混ぜあわせたものを生重にして約 1.7kg ポットに入れ、4月14日 1ℓの塩化第二銅溶液を用いて5段階のCu処理を行なった。処理液の濃度は処理1（無処理）— 0 ppm, 処理2—40ppm, 処理3—120ppm, 処理4—260ppm, 処理5—430ppmである。2日後に処理液を抜き充分水洗攪拌し、5月2日クロマツ種子を播いた。播種種子数は各ポット40粒であるが、発芽状況を調べた1ヶ月後からは栽培期間を通じて混み合うものは適宜間引きを行なった。また使用した土壌は極めて肥料分に乏しいため、本実験に影響の出ない程度の施肥、灌水を行なった。肥料は1000倍ハイポネックス溶液100~250ccを用いて4月30日より6, 7, 8月を中心に12回行なっている。

2) 苗の出現率、転倒率の測定法

播種後1週間で発芽個体が地表面に現われたしたが、発芽の盛んな時期は3日間隔その後は適当に間隔を広げ、5月31日迄の29日間各処理35ポットの発芽状況を調べた。本実験は土壌栽培であるため胚軸あるいは子葉の一部が地表面に現われた時期を記録し出現率として表わした。出現は6月以降もいくらか増加する傾向が認められたが、その後の生長量の測定あるいはそのための間引きを優先したため測定は29日間に止めた。また土壌から出現した苗は出現後は2週間めあたりから特に高濃度処理苗を中心に転倒し根が乾燥枯死していく現象がみられた。このような転倒し根が地表面を離れた苗も同時に記録し転倒率として表わした。生長量の測定苗は第1回めの掘取り時に、このような苗を除いた比較的健全な苗である。

3) 生長量の測定

播種後6月1日, 7月1日, 7月31日, 8月30日, 9月30日, 10月28日と約30日毎に6回試料を採取した。それぞれ6, 7, 8, 9, 10, 11月測定と以下の議論の中でよぶ。試料は生長量測定用苗として各処理6月50本, 7月40本, 8, 9, 10, 11月30本を採取した。さらに葉の形態及び数量, 長さの記録写真用として各処理毎月5本の試料採取を加えた。主な測定項目は地際直径, 樹高, 根長それに各部の重量であるが、今回の報告では重量については言及しない。地際直径の測定はダイヤルキャリパーを用い、樹高についてはさらに胚軸長, 上胚軸長, 冬芽長に分け、根長の測定は最長の根を伸ばした状態で折尺で測定した。ポット自体の深さが20cm程度なのでそれ以上長い根はポットの大きさにいくらか影響されたものと思われる。しかし最長の根は60.5cmに及んだ。

また6, 7月には各個体最長の子葉長, 初生葉長を測定し, 8, 9月には子葉数, そして8, 9, 10月には生存子葉数の測定もあわせて行なった。子葉数はすでに落葉してしまったものは胚軸上部に残された痕跡から生存時の数を求めた。11月測定の数に一部欠如となったものがある。

さらに葉の形態、数量、長さを補足する意味から毎月各処理5本の苗の地上部解体を行ない写真を撮影した。A4版のCH焼より子葉、初生葉、普通葉の分けと長さの測定を行なった。測定は折尺を用いたが、子葉あるいは普通葉等で湾曲しているものはキルピメーターで行なった。

尚グラフに用いた土壌Cu濃度は栽培期間約180日の1/2にあたる90日めの土壌Cu濃度推定値、処理1—3.60ppm、処理2—31.6ppm、処理3—81.1ppm、処理4—148ppm、処理5—217ppmを用いている⁶⁾。

3. 結 果

1) 発芽時期における影響 (Fig.1)

播種後1週間で発芽個体の地表面への出現がみられ、2週間前後をピークに約1ヶ月で出現はほぼ終了した。Cu処理を施していない処理1でみる限り75%以上の出現率を示した。Cu処理の影響は出現時期の遅れとして現われ、播種後11日めの5月13日の出現率を発芽勢と考えれば処理1—36.9%、処理2—19.6%、処理3—21.7%、処理4—14.9%、処理5—15.4%と無処理、低濃度処理、高濃度処理の発芽勢の違いは明らかである。しかしその後低、高濃度処理区でも出現は続き、29日めの5月31日にはすべての処理区で75%前後となり、その後の出現も考えると最終的な発芽率は75%を超えと思われる。この程度の処理濃度差では発芽率自体への影響は少なかったと思われる。播種後3週間前後より特に高濃度処理の処理4、5を中心に苗の転倒が始まり、5月31日には出現個体のうち処理4で13.0%、処理5で33.2%の苗が転倒した。処理5ではさらに多くの転倒苗ができる傾向がみられた。転倒苗は地上部に対し根の発達が悪く、根が地上部の重量を支えきれずに転倒したもので、根は地表面から持ち上がり乾燥し枯死していく危険性をもっていた。そのため5月31日の時点でその後も生存し続ける可能性をもった苗は処理1—76.4%、処理2—73.0%、処理3—74.0%、処理4—64.4%、処理5—48.4%であった。

2) その後の生育過程に及ぼす影響

生育過程を毎月の観察と葉、根についての測定事項から辿ってみると次のようになった。(Fig.5)

6月：地上部について処理差はほとんど認められなかったが、高濃度処理区(処理5)では地表への出現時期の遅れから生育遅れが目立った。胚軸は緑色を呈しすべての個体で木化は進んでいない。葉は大部分が子葉であり、その間から初生葉がみられた。子葉は種皮を落として間もなく上方を向いた個体が多い。根については無、低濃度処理区では処理の差は認められなかったが、高濃度処理苗の伸長は著しく阻害され、側根はみられず個体によっては先端が黒色化しているも

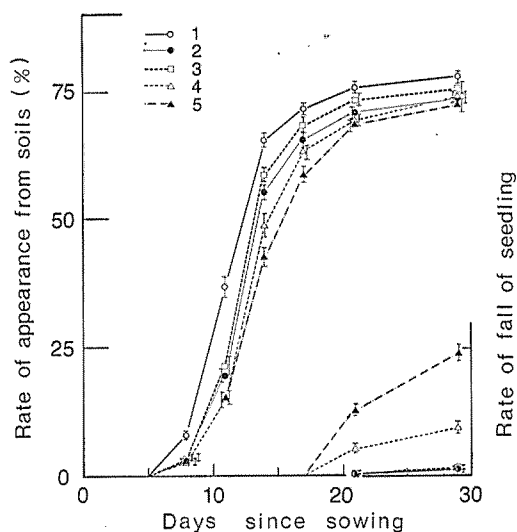


Fig. 1 Effect of excessively applied copper on germination
Vertical bars indicate s.e.m. (n=35)

のもあった。

7月：胚軸の木化は無、低濃度処理苗では終了した。高濃度処理区（処理5）ではほぼ半数の個体の木化が完了したにすぎない。無、低濃度処理苗では上胚軸の形成に伴い伸長生長が著しく、初生葉の展開も活発化しているが、高濃度処理ではまだ葉量に占める子葉の割合が高かった。根については無、低濃度処理では伸長が著しく側根も増えしっかりとした根が形成されてきたが、高濃度処理では伸長は進まず、いくらか形成された側根あるいは先端部の白根は太かった。

8月：無処理、低濃度処理の処理差がいくらか現われた。地上部においては上胚軸の伸長生長の違い、そしてそれに伴う葉量差として現われるが、子葉の落葉も低濃度処理を中心に始まり普通葉の形成は無処理苗から始まった。根については地上部の生長差とは逆に、低濃度処理は無処理より根の伸長が優れ側根の発達が著しかった。高濃度処理苗では胚軸の湾曲したものが認められ、根は伸長が抑制されているためか地際下ですぐに分岐した側根を出しているものが多かった。また先端部の白根は太く短い、その他の部分は低濃度処理苗に比べ全体に黒ずんでいた。処理2, 3, 4を中心に根に菌根の付着が認められた。

9月：無、低濃度処理苗では個体により普通葉が目立ち始めた。特に処理1では初生葉長を凌ぐ長さのものもみられた。子葉は処理1, 2, 3, 4でほとんど落葉したが、初生葉も低濃度処理を中心に落葉し始めた。冬芽の形成が個体により始まった。根については相変わらず低濃度処理の根の発達は著しいが、高濃度処理の根の増加も著しく処理4では無処理苗とほとんど変わらなくなった。

10月：無処理の普通葉はほとんどすべての個体で形成され葉長の伸長が著しい。低、高濃度処理苗にも普通葉は形成されるが、形成されていない個体も多く葉長は無処理苗に比べて短かった。初生葉の落葉はすべての処理区で盛んであった。冬芽は無処理で80%以上、低濃度処理で60%以上形成されたが高濃度処理区（処理5）では確認できる長さのものはほとんど形成されていなかった。

11月：無処理の個体は10月に比べさらに大きくなり、ほとんど生長が止まった状態の低濃度処理苗との差はさらに明らかとなった。高濃度処理苗も根の発達に伴いしっかりしてきたが、根の形態は相変わらず異常であった。葉はすべての処理で赤みを帯び、落葉は処理2, 3, 4を中心にさらに増加した。

観察を中心に生育状況の概要を述べてきたが、さらに測定結果から葉及び根について検討してみよう。葉は当年生の場合子葉、初生葉、普通葉の3つの形態をもつ。まず子葉は1年めでほとんど落葉した。子葉は他の2形態の葉に比べCuの影響は少なく、特に子葉数はすべての処理で

Table 1 Effect of excessively applied copper on number of cotyledons and defoliation of cotyledons

Treatment		1	2	3	4	5
Average number of cotyledons per plant		6.78	6.65	6.55	6.65	6.51
Rate of defoliation of cotyledons per plant (%)	Aug.	26.1	64.3	61.3	28.2	12.5
	Sept.	85.9	90.4	99.5	84.6	43.7
	Oct.	88.9	100	100	100	84.9

Note: Average number of cotyledon was estimated by the data in Aug. and in Sept. (n=60)

The number of cotyledons in all treatment ranged from 4 to 9.

Rate of defoliation was estimated by the data of the number of survival cotyledons (n=30) and upper average number.

4~9枚, 平均で6.6枚となり Cu 処理による影響は認められなかった。

(Table 1) しかし子葉長は高濃度処理区(処理5)でやや短く, 処理5の苗の生育の遅れとも考えられるがその傾向は播種2ヶ月後の7月の値においても同様の結果を示した。(Fig. 2-1) 初生葉は子葉に較べ Cu の影響を受けやすい。最長の初生葉長について調べた Fig. 2 においても個体内の平均生存初生葉長を調べた Table 2 においても初生葉長は無, 低濃度処理苗と高濃度処理苗との差は歴然としていた。初生葉数についても落葉が始まらない6, 7, 8月の値から Cu 処理によって高濃度処理苗の初生葉数が減ぜられることは明らかとなった。普通葉は8月頃より形成されるが, 高濃度処理では形成時期の遅れが認められた。無処理, 低濃度処理, 高濃度処理の順に葉数, 葉長は減少し, 子葉, 初生葉に較べ最も Cu の影響を受けやすかった。

(Table 2)

根については根長についてのみ検討してみると, 播種後1, 2ヶ月を経た6, 7月には無, 低濃度処理苗には変化は認められないが, 高濃度処理では根の伸長が著しく抑制されていた。しかし8月頃より低濃度処理苗は無処理よりかえって根長を伸ばしその傾向は9, 10月と続いた。高濃度処理苗も8月頃からかなりの伸長を示し, 特に処理4では9月頃には無処理とそれ程変わらない長さとなった。(Fig. 2-2)

3) 伸長生長, 肥大生長に及ぼす影響

樹高は胚軸長, 上胚軸長, 冬芽長の合計値であるため, まず個々の器官長について検討してみた。胚軸長は6月から10月の測定値では処理1~4で Cu 処理差はほとんど認められなかった。しかし高濃度処理の処理5では処理1~4よりやや短い傾向が認められた。胚軸長が処理による影響を比較的受けにくいのに対し, 上胚軸長は上胚軸形成時より無処理, 低濃度処理, 高濃度処理の処理差は明らかとなり特に高濃度処理の上胚軸長に及ぼす影響は大きかった。冬芽長につい

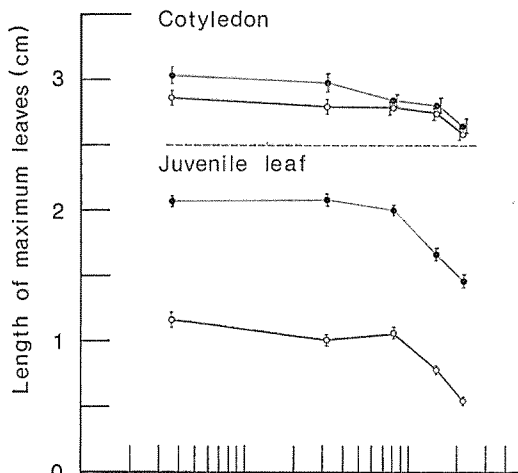


Fig. 2-1

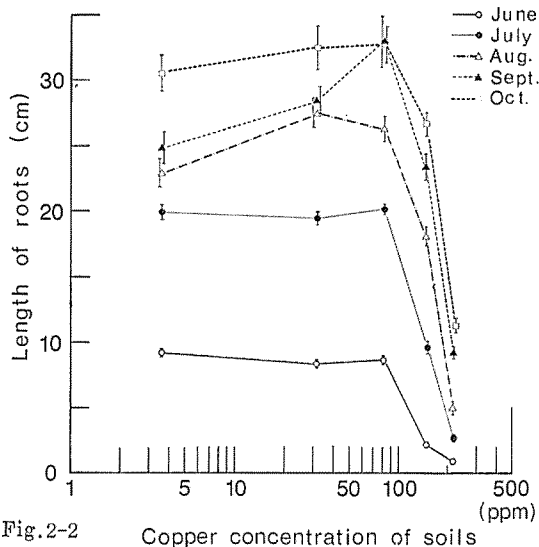


Fig. 2-2

Copper concentration of soils

Fig. 2 Effect of excessively applied copper on length of maximum leaves (upper) and on length of roots (under) Vertical bars indicate s.e.m. Numbers of measurement are 50 in June, 40 in July and 30 after Aug. Copper concentrations of soils are estimated values taken 90 days after sowing.

Table 2 Effect of excessively applied copper on development of cotyledons, juvenile leaves and foliage leaves

	Treatment	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.
Average number of cotyledons per plant	1	6.8	6.8	3.8	0.8	0.2	0.0
	2	7.2	6.6	2.2	0.6	0.0	0.6
	3	6.2	6.8	3.2	0.0	0.0	0.0
	4	7.0	7.0	3.6	0.0	0.4	0.0
	5	7.2	6.4	3.2	1.0	0.0	0.0
Average length of cotyledons per plant (cm)	1	2.96	2.88	2.31	2.66	2.76	—
	2	2.87	2.87	3.02	3.03	—	2.90
	3	2.76	2.76	2.78	—	—	—
	4	2.73	2.92	2.58	—	2.33	—
	5	2.61	2.84	2.16	2.37	—	—
Average number of juvenile leaves per plant	1	10.2	44.8	39.6	47.8	29.6	31.4
	2	8.2	47.6	41.6	47.8	37.8	23.4
	3	9.2	44.4	36.4	32.2	27.4	15.2
	4	6.8	30.0	24.6	31.2	23.8	17.8
	5	5.8	20.6	14.4	25.6	17.4	17.0
Average length of juvenile leaves per plant (cm)	1	0.888	1.67	1.74	1.64	1.64	1.66
	2	0.817	1.49	1.59	1.64	1.49	1.35
	3	0.885	1.49	1.57	1.79	1.80	1.53
	4	0.554	1.43	1.35	1.61	1.73	1.63
	5	0.469	1.30	1.18	1.28	1.38	1.50
Average number of foliage leaves per plant	1	0.0	0.0	2.0	6.2	5.4	5.8
	2	0.0	0.0	2.0	2.2	3.0	5.8
	3	0.0	0.0	0.2	4.0	1.8	3.2
	4	0.0	0.0	0.8	2.2	2.6	2.8
	5	0.0	0.0	0.0	1.8	1.0	2.8
Average length of foliage leaves per plant (cm)	1	—	—	1.13	1.65	4.51	4.79
	2	—	—	1.10	1.03	3.22	2.43
	3	—	—	1.16	1.47	1.80	1.22
	4	—	—	1.19	1.04	2.30	1.62
	5	—	—	—	1.08	1.89	2.28

Note: Average number and length were estimated by the data of 5 plants in all months and treatments respectively. Cotyledons began falling in August and juvenile leaves began in about September from lower concentration treatment, too.

ても上胚軸長同様形成時より処理差が認められた。(Fig. 3-1) その結果 樹高は播種2ヶ月後から無処理, 低濃度処理(処理3)の間にも生長の低下は認められ, 10月にはさらにその差は明らかなものとなった。また高濃度処理と無処理, 低濃度処理との生長差は生育期間が経過するほどはっきりと現われた。(Fig. 3-2)

肥大生長は伸長生長ほどCuの影響を受けにくい。特に播種後4ヶ月を経た9月の測定値まで無処理と低濃度処理苗の生長差は認められなかった。しかし普通葉の展開がほぼ終了する10月には急に無処理, 低濃度処理に生長の差が明らかとなった。伸長生長ほど影響は認められにくいが高濃度処理特に処理5では発芽後早い時期から無処理, 低濃度処理との生長差は認められた。

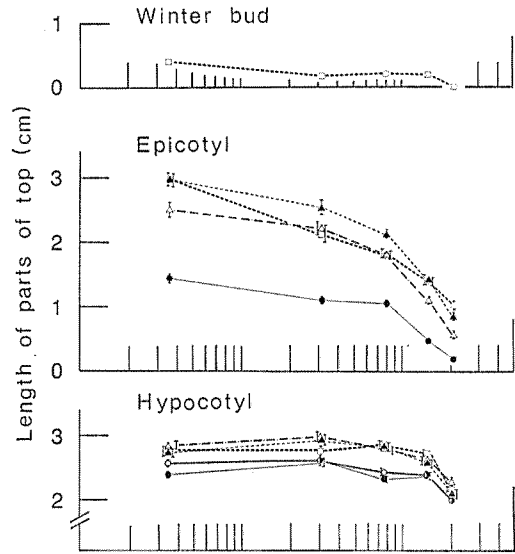


Fig.3-1

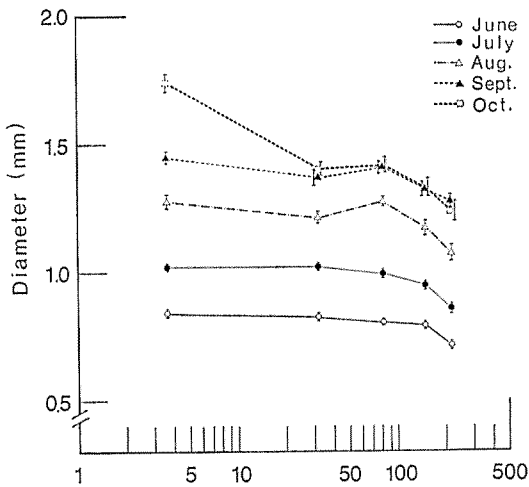


Fig.3-3

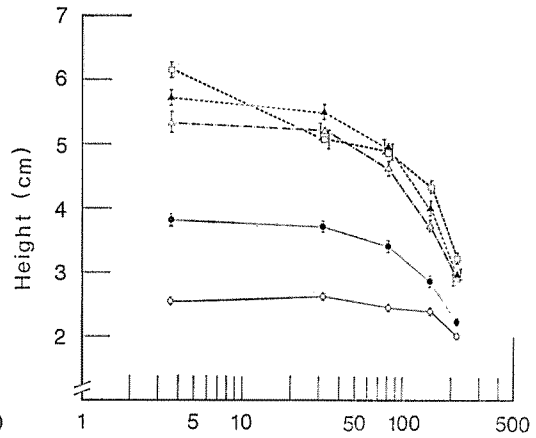


Fig.3-2

Copper concentration of soils (ppm)

Fig. 3 Effects of excessively applied copper on length of parts of top (upper), height (right) and diameter (left). Vertical bars indicate s. e. m. Numbers of measurement are 50 in June, 40 in July and 30 after Aug. Copper concentrations of soils are estimated values taken 90 days after sowing.

(Fig.3-3)

さらに伸長、肥大生長について形状比（樹高／根際直径）の経時変化で考察してみた。(Fig. 4) 当時生クロマツ苗は8月頃をピークに伸長生長が進み秋に入り肥大生長が増加する生長パターンを示した。Cu処理の結果低濃度処理の処理2では無処理とほぼ変わらない動きを示すのに対し、処理3ではすでに7月より処理1, 2に較べ形状比の低下が認められ、8月の最高値もこれらよりかなり低い値を示した。高濃度処理の処理4, 5では、無処理、低濃度処理に較べさらに低い値を示し、処理5では6月にすでにその傾向が認められた。また無処理、低濃度処理が

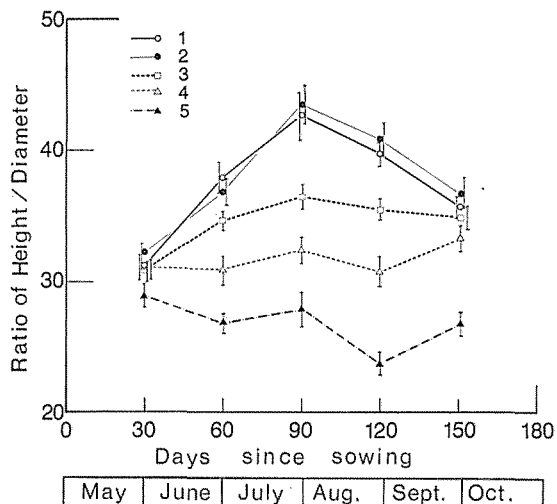


Fig. 4 Seasonal change of Ratio of Height/Diameter

を示すため、今回の報告ではこの子葉を持ち上げる胚軸あるいは子葉の一部が地上に現われた時期を記録し出現率として表わした。この出現率は生態学的な発芽率と考へてもさしつかえないものとする。出現率でみる限りこの程度の Cu 処理濃度範囲では、最終的な発芽率に及ばず Cu の影響はほとんどなかったものと思われる。しかし土壌から出現直後にみられた高濃度処理苗の転倒は、播種後約 1 ヶ月で処理 5 では出現個体の 1/3 に及びこれらの苗は今後根の乾燥とともに枯死する危険性をもっていた。過剰 Cu による樹木への影響は往々にして Cu の体内侵入に伴う生理的な異常の結果としてとらえがちであるが、発芽直後の根への伸長抑制は形態的に地上部と根のバランスを失し、根の支持組織としての機能を麻痺させ植物にとって大きな打撃を与える結果となる。このような一過性の Cu 害は当年生苗のみ現われる現象であろうが、植物の更新上も重要な要素となるであろう。

その後致命的な打撃をまぬがれたクロマツ苗は盛夏に向けて伸長生長そしてやや時期を遅れて肥大生長が盛んとなる。生育初期から伸長生長への Cu の影響は顕著に現われるのに対し肥大生長への影響があらわれる時期は遅く、その程度もまた小さい。その結果 10 月の処理 5 にみられるように特に高濃度処理苗は形状比の小さいずんぐり形を示すことになる。

当年生クロマツの各器官の形成、その後の生長は種子のもつ栄養⁷⁾と葉(胚軸の緑色部⁸⁾)の光合成産物に依存する。葉は子葉、初生葉、普通葉の 3 形態を示す。ここで苗の生育期間を葉の 3 つの形態に代表させて各ステージにおける各器官の形成、生長過程に及ぼす Cu の影響についての考察を試みよう。子葉期においては子葉、胚軸は苗の地表面への出現時期の遅れから生長にいくらか遅れが認められ、高濃度処理(処理 5)で長さが少し減じるが、子葉数には影響は認められない。種子のもつ栄養にその発達の多くを依存するこれらの器官への影響は比較的少ないといえよう。しかし直接 Cu に接する根の生長は高濃度処理で著しく抑制される。初生葉期は当年生クロマツにとって伸長生長期にあたりこの時期に形成される各器官の生長は、子葉、緑色の胚軸、早く形成された初生葉の光合成産物にそのほとんどを依存している。Cu の影響は無処理、低濃度処理でいくらか処理差が現われるが、高濃度処理との差は顕著となる。初生葉は形成時期、長さ数量共、無処理、低濃度処理にいくらか Cu の影響が認められ、それらの処理と高濃度処理との差はさらに顕著となる。上胚軸の伸長についても処理間で同様の傾向がみられる。根長は高濃

生育後半に形状比を低下させるのに対し、高濃度処理では 9 月から 10 月にかけて形状比は増加した。処理 4 は無処理、低濃度処理に近い値となったが、処理 5 では依然これらの処理よりかなり低い値を示した。

4. 考 察

幼根の生長が種皮を押し破るという形態的变化によって我々は発芽を認めることができるが、土壌栽培では発芽後地中で消失していった個体を把握することはできず発芽数を正確に数えることはできない。マツ属は子葉が地表面に現われる発芽形態(epigeal germination)

度処理と無, 低濃度処理苗の処理差は明らかであるが, 無処理と低濃度処理では低濃度処理苗の根の発達がかえって無処理苗よりすぐれる傾向がみられる。しかしすでに低濃度処理では地上部あるいは同化器官に矮少化が認められ, 苗の生長低下が予測されるだけにこの根の発達は一時的なものと思われる。初生葉期の半ばには子葉そして後半には初生葉自体の落葉が低濃度処理から高濃度処理を中心に始まり盛んとなる。葉の形成の遅れ, 生産減少, そして落葉による葉量の減少は次の普通葉期に形成される器官の生長への影響を予測させる。普通葉期には普通葉と冬芽が形成されるが, この時期はまた肥大生長の時期でもある。地上部においても無処理, 低濃度処理, 高濃度処理の生長差は顕著となる。普通葉は無処理と低濃度処理においても形成時期, 長さ, 数量に明らかな処理差が現われ, 冬芽の形成時期, 長さにも同様の傾向が認められる。高濃度処理苗ではこの傾向はさらに明らかで無, 低濃度処理との差は歴然とする。普通葉がほぼ展開を終える10月測定時には, 肥大生長においても無処理, 低濃度処理苗の生長差は顕著なものとなり, 植物体にとって Cu による生長阻害は地上部においても明白なものとなる。

引用文献

- 1) Kozłowski, T. T., and Torrie, J. H.: Effect of soil incorporation of herbicides on seed germination and growth of pine seedlings Soil Sei. **100**(2)139-146 1965
- 2) Sasaki, S., and Kozłowski, T. T.: Effects of herbicides on respiration of red pine (*Pinus resinosa Ait.*) seedlings I. s-Triazine and chlorophenoxy acid herbicides. Advan. Front. Plant Sci. **22** 187-202 1968
- 3) Sasaki, S., and Kozłowski, T. T.: Effects of herbicides on respiration of red pine seedlings II. Monuron, diuron, DCPA, dalapon, CDEC, CDAA, EPTC, and NPA Bot. Gaz. **129** (4) 286-293 1968
- 4) Sasaki, S., and Kozłowski, T. T.: The role of cotyledons in early development of pine seedlings Can. J. Bot. **46** 1173-1183 1968
- 5) 安藤信: 過剰 Cu 処理された当年生クロマツ苗の光合成及び呼吸 重金属汚染と樹木の生長 I 京大演報 **52** 1~10 1980
- 6) 安藤信: 過剰 Cu 処理された当年生クロマツ苗の植物体内 Cu 濃度変化 重金属汚染と樹木の生長 II 京大演報 **53** 24~32 1981
- 7) Sasaki, S., and Kozłowski, T. T.: Utilization of seed reserves and currently produced photosynthates by embryonic tissues of pine seedlings Ann. Bot. **33** 473~482 1969
- 8) Sasaki, S., and Kozłowski, T. T.: Effect of cotyledon and hypocotyl photosynthesis on growth of young pine seedlings New phytol. **69** 493~500 1970

Résumé

The effect of excessively applied copper on development of one-year-old Japanese black pine (*Pinus Thunbergii* Parl.) in germination and succeeding stages was investigated. The concentration of copper (CuCl₂) solution applied to the soils was 0, 40, 120, 260, 430 ppm. The results are summarized as follows:

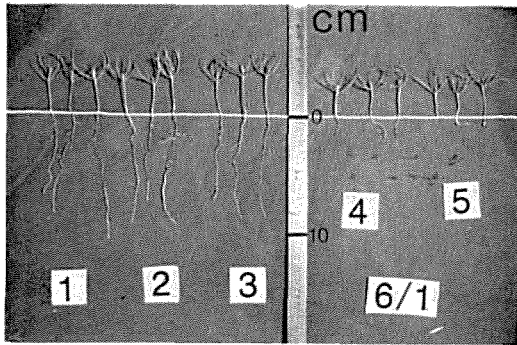
1) It seems that the final germination percentage is little affected by copper in this range of concentration treated, though the time when seedling appears from soil in higher concentration is later than that in control and lower concentration.

2) Many seedlings treated with higher concentration fall down immediately after germination due to less developed root system. These seedlings are exposed to the danger of death by drying of roots.

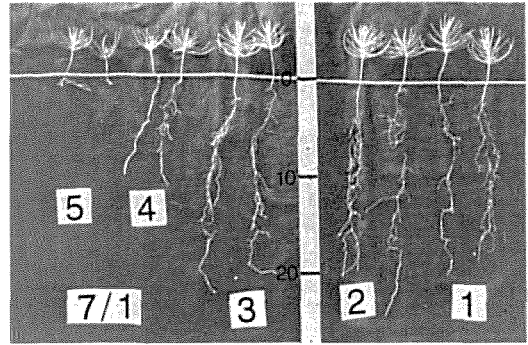
3) The effect of Cu on development of cotyledon and hypocotyl which depend their nutrition on seed reserves seems less evident. But the development of juvenile leaf and epicotyl is apparently inhibited. That of foliage leaf and winter bud formed in the late growing season is also inhibited remarkably by copper treatment.

4) The development of root is checked greatly by excessive copper from the early stage of growth. But the elongation of root in lower concentration becomes more active temporarily during the late growing season than in control.

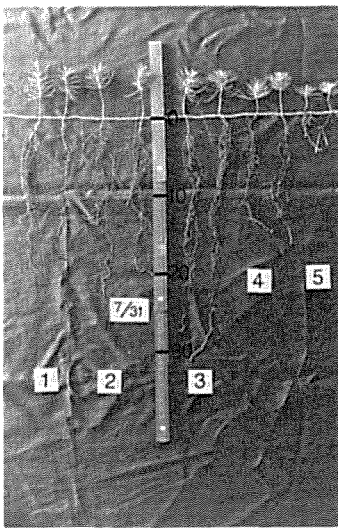
5) The more apparent effect of copper treatment on height growth is observed than that on diameter. Consequently the ratio of height to diameter (H/D) becomes decreasing and this tendency was very distinct early in growing season in even lower concentration treatment (Fig.4).



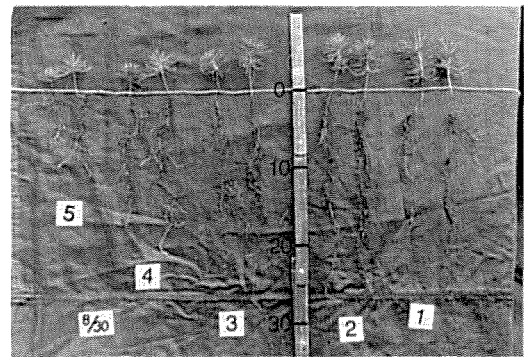
June



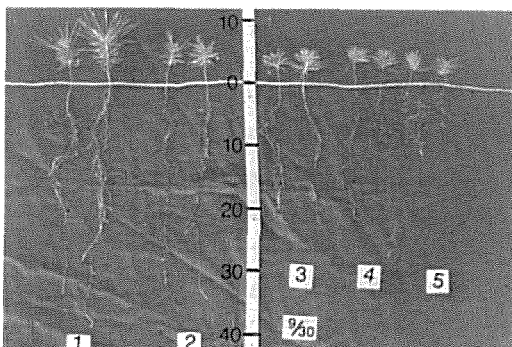
July



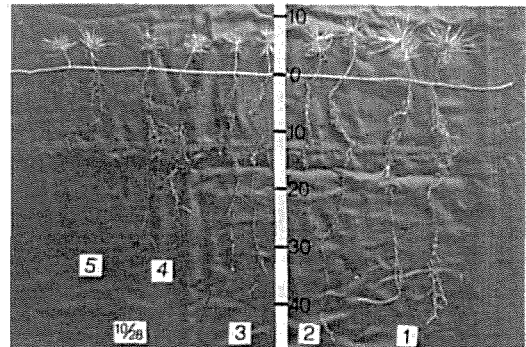
August



September



October



November

Fig. 5 Seasonal change of growth of excessive Cu treated one-year-old *Pinus Thunbergii* seedlings