

重金属汚染と樹木の生長 IV

—過剰 Cu 処理された当年生クロマツ苗の
植物体内養分量および含水量—

安 藤 信

Heavy metal pollution and tree growth IV

—Effect of excessive Cu treatment on mineral
concentration and water content of one-year-old
seedlings of *Pinus Thunbergii*—

Makoto ANDO

要 旨

過剰 Cu 処理された当年生クロマツ苗の植物体各部の養分濃度および含水量の経時変化を調べた。土壤に処理された CuCl_2 溶液の濃度は 0, 40, 120, 260, 430ppm であった。結果の概要は、

1) 使用した土壤の置換態 Cu 濃度 (IN 酢酸アンモニウム pH7.0 抽出) と希酸可溶態 Cu 濃度 (0.1N 塩酸抽出 Cu から置換態 Cu を差し引いたもの) はともに試験期間中に低下するが、低下率は希酸可溶態が大きく、両者の土壤中での形態的な変化は少ないようである。

2) 植物体各部の含水量は 6 月から 8 月に大きく減少し、8 月以降も徐々に減少する。Cu 処理により含水量は低下し、その傾向は、6, 7 月の根に最も明らかである。地上部の 7, 8 月の含水量は高濃度処理区で、生育に危険な程度にまで低下した。

3) 当年生クロマツ苗の養分濃度の季節変化はそれぞれの養分によって異なる。K, Mg, P, Fe は生育期初期に高く、その後低下し安定する傾向がみられ、P は生育期後半に再び濃度はいくらか上昇する。Ca はこれらの養分と異なり生育期初期に低く、後半に上昇する。植物体各部の養分濃度は一般に根の濃度が高く、地上部では葉の濃度が高い。

4) 植物体各部の養分濃度は過剰 Cu によって低下する。その影響は Ca, P で最も明らかで Fe ではほとんどみられない。器官別には根および葉への影響が大きい。

5) 土壤中の置換態 K, Ca, Mg 濃度は Cu 処理により低下し、K に比べ Ca, Mg への影響が大きい。

1. はじめに

過剰重金属の添加による植物体内の各種養・水分量への影響については草本類を中心に今までにもいくつかの研究が行なわれてきた¹⁾。その中で茅野²⁾は重金属による植物の反応の特徴のひとつとして Fe の吸収が阻害されることを指摘しているが、それはすべての植物や環境でみられる現象とはいえないようである。いずれにしても重金属の添加が植物の体内代謝に参与する養・水分量に変化をもたらすとすれば、その結果として現われる生長にとって見逃せない現象である。

過剰重金属による植物の生理的な反応に関する研究は今までもいくつか報告されているが、個々の種、環境についてさらにデータの集積が必要であろう。筆者は前報までに当年生クロマツ苗に過剰Cuを添加した時の生育阻害について、発芽率と植物の形態的な変化³⁾、植物体内のCu濃度変化⁴⁾、そして光合成、呼吸率とその部位の量的な変化⁵⁾について報告してきた。今回の報告では、植物体内の養・水分量におよぼす影響について前報との関連の中で論じたい。

本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。同岩坪五郎講師には分析法についてご指導いただいた。森林生態学研究室各位にはいろいろご協力いただいた。東京農工大学におられた田崎忠良先生、牛島忠広先生には適切なお助言をいただいた。ここに記して感謝の意を表したい。

2. 試料および分析法

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。鹿沼土とパーミキュライトを体積比で1:1に混ぜあわせたものをポットに入れ、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）—0ppm、処理2—40ppm、処理3—120ppm、処理4—260ppm、処理5—430ppmである。5月2日クロマツ種子を播き、10月28日まで約30日ごとに6回植物体の試料を採取した。それぞれ6、7、8、9、10、11月測定と以下の議論の中で呼ぶ。また使用した土壌は極めて肥料分に乏しいため、本研究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。

植物体は各部分に分け生重を測定し、80~85℃で48時間の風乾後、乾重を測定し分析に供した。植物体は根（root）、胚軸（hypocotyl）、上胚軸（epicotyl）、冬芽（winter bud）、葉（leaf）、枯葉（dead leaf）に分け、根の生重は水洗後、表面に付着した水分をふき取って測定した。生重と乾重から対乾重含水量（water content on an oven basis）⁶⁾を算出した。試料は乾重にして0.5g秤量し、硝酸：過塩素酸：硫酸=7:7:1の混酸で湿式灰化し、1:1塩酸で洗い落とした。Ca、Mg、Feは原子吸光法、Kは蛍光分析法、Pはモリブデン青法により分光光度計を用いて定量した。

尚植物体各器官の養分濃度および含水量は器官を細分しすぎるとはなはだ考察が煩雑になってしまうため、植物体全体（plant）、根、幹（stem）、葉について考察し、胚軸、上胚軸、冬芽はすべて幹の中に入れた。枯葉の養分濃度は葉に比べ、K、Pで溶脱のためか濃度低下がみられ、Ca、Mgでは大差がなく、Feはかえって高い傾向がみられたが、過剰Cuによる枯葉の養分濃度に対する影響は葉と似ているため今回の考察では省略した。

土壌試料の採取はあらかじめ土壌採取用に用意したブランクポットから、処理直後、播種時、植物体試料採取と同時に進めた。採取した土壌は80~85℃で48時間風乾後粉砕し、直径2mmのメッシュを通る分だけ回収した。乾重にして5g秤量し0.1N塩酸と1N酢酸アンモニウム（pH7.0）を用いて抽出した。塩酸によるCuの抽出は土壌環境の重金属測定法として法令で定められた方法⁷⁾であるが、その方法と結果については前報⁴⁾で述べた。酢酸アンモニウムによる抽出法は森林土壌中の置換性の養分量の分析によく使われる方法で、Mg、Caの測定は特に土壌中の塩基の流亡、溶脱の程度をみるのに適しているとされる⁸⁾。土壌中の養分量のCu処理による影響をみるため、養分の一例として置換性のCu、K、Ca、Mgの測定を行なった。Cu、Mg、Caは抽出後原子吸光法で、Kは蛍光分析で定量した。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 (0.1N 塩酸抽出), 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⁴⁾。

3. 結果および考察

1) 土壌中の Cu 量の表示

土壌中の重金属の表示法として昭和45年に「農用地の土壌汚染防止等に関する法律」が施行され, 銅についての分析法が省令⁷⁾ で定められ, 農林水産技術会議事務局⁹⁾ は「土壌および作物体中の重金属の分析法」をとりまとめた。これにより土壌環境中の Cu 量についてひとつの定まった表示法が示された。日向¹⁰⁾¹¹⁾ は, 9種類の土壌 Cu 量の定量法をとりあげて土壌中の Cu の形態を考察しているが, その中で, 土壌中の全 Cu 量 (過塩素酸可溶) に対するキレート態 (EDTA 可溶), 希酸可溶態 (0.1N 塩酸可溶), 置換態 (IN 酢酸アンモニウム pH7.0 可溶) Cu 量の割合は Cu 添加後キレート態 Cu は経年的に増加するが, 植物に吸収されると思われる希酸可溶態あるいは置換態 Cu は減少し, 特に希酸可溶態の減少率が大きいと報告している。

本試験で用いた土壌について, 希酸可溶態および置換態 Cu について若干の考察を試みた。ここでいう希酸可溶態とは, 0.1N塩酸により抽出された Cu 量から置換態 Cu 量 (IN 酢酸アンモニウム pH7.0 抽出) を差し引いた値である。0.1N 塩酸抽出による Cu 量は経時的にみると, 6カ月の試験期間中に高濃度区で低下が著しく, 低濃度区では緩やかな低下を示し, 無処理区ではおそらく施肥の影響と思われるがわずかに増加する傾向がみられたことは前報⁴⁾ で報告した。置換態 Cu について同様の傾向がみられたが, Cu 濃度の低下率は経時的に小さく日向¹¹⁾ と同様の結果が得られた。各時期の希酸可溶態および置換態 Cu 濃度の関係を求めると, 処理直後あるいは1カ月めでは他の時期より置換態 Cu 濃度においてやや高い傾向がうかがえるが, 希酸可溶態 Cu 濃度が10~1000ppm の範囲内において極めてよい相関を示した。希酸可溶態, 置換態 Cu 濃度ともに経時的に減少するが, それぞれ濃度が低下しても両者の関係に変化はみられない。試験を行なった土壌条件あるいはこのような短期間では希酸可溶態 Cu と置換態 Cu の間には土壌中の Cu の形態的な移動がみられず, 両抽出法はそれぞれの土壌の Cu 濃度に依存して抽出量が異なるものと考えられる。しかし希酸可溶態 Cu 濃度が10ppm 未満では, 置換態 Cu 濃度は両者の間の関係式から得られる推定値より高い値となった。土壌中の Cu 濃度が低い場合置換態 Cu 量が予想以上に多いとも考えられるが, 分析に使用した土壌量あるいは Cu 量に対して, 使用した原子吸光光度計などの分析精度の限界と考えた方が妥当と思われる。

0.1N 塩酸抽出法と IN 酢酸アンモニウム抽出法との間には図1のような両対数グラフで直線の関係が得られた。土壌中の過剰 Cu 濃度の測定には, 本試験のように比較的土壌条件が一様で短期間の場合, 両者の関係を求めておけば, この二つの抽出法ともに土壌中の Cu 量の表示法として有効な方法と考えられる。しかし植物にとって Cu が有効な成分として働く微量の土壌 Cu 濃度の分析には抽出量の多い0.1N 塩酸による抽出法がより優れているものと思われる。

植物に実際吸収される可給態の Cu 量の表示となると, 植物の種, 土壌の pH, 腐植の有無など土壌の物理的, 化学的条件によって異なり, 植物にとってはそれぞれの生育期で要求量も異なるであろうし, 今後さらに検討を要する課題である¹²⁾。

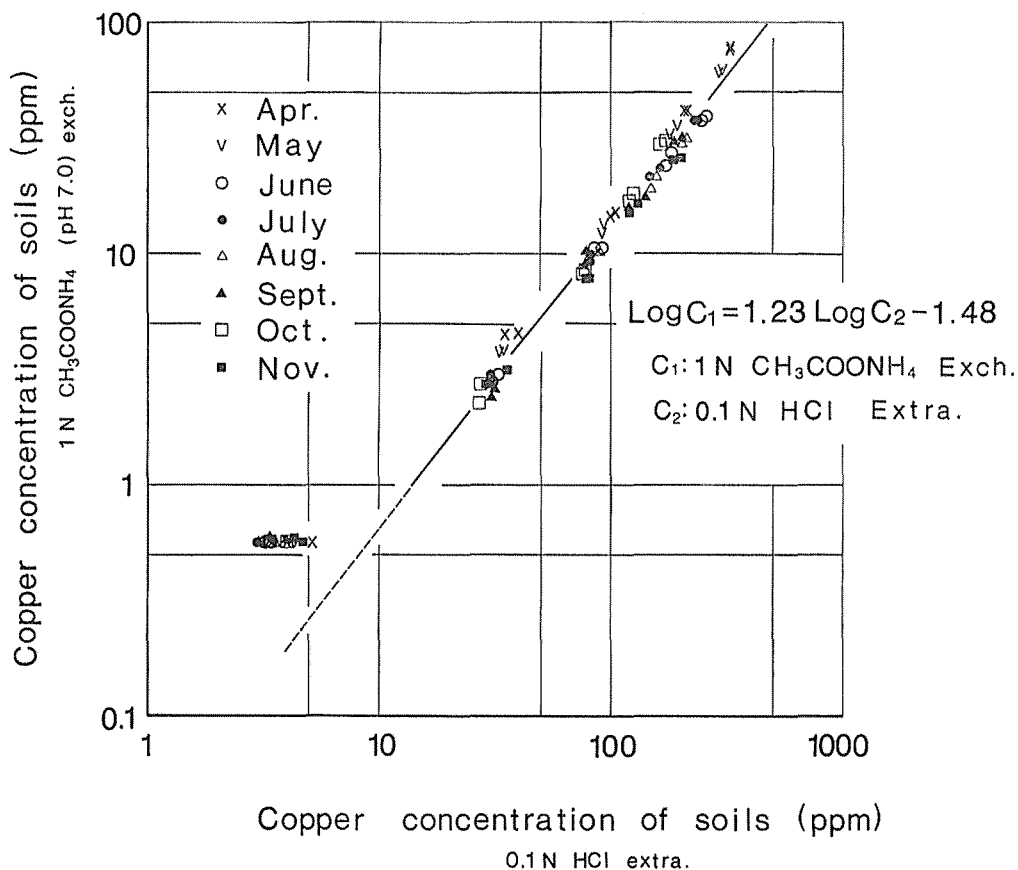


Fig. 1 The relation between copper concentration of soils extracted by 0.1N HCl and that exchanged by 1N $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (pH 7.0)

2) 植物体内養・水分量

マツ類の体内各器官の養分含有量に関する研究は今までも数多く報告されている^{13)~19)}。これらの報告の中では地位、樹種間差、植物の樹令と形態、肥培と養分含有量との関係について論じたものが多く、そして近年は植物の栄養状態を知る指標として、葉分析に関する研究も多く報告されている。しかし稚樹の各器官ごとの季節変化、とりわけ植物にとって生育阻害をおこす物質に対する樹木の体内の養分量の変化について考察した研究は少ない。本研究で用いた当年生稚苗は植物が種子から各器官に分化していく過程であり、植物体内の養分含有量は大きく変化する。そのため一時期の養分分析結果では、過剰 Cu による生育阻害のためにおきた植物の生育ステージの遅れに伴う養分量の違いなのか、直接過剰 Cu が養分吸収を阻害したため、あるいは植物体内に侵入したためにおきた養分量の変化なのか判断するのは難しい。ここで Cu の添加による土壌中の置換性 K, Ca, Mg 濃度の変化、植物体内水分量 (対乾重含水量), K, Ca, Mg, P, Fe 濃度の変化について考察を試みた。

《植物体内含水量》

当年生クロマツ苗の含水量は6月から8月にかけて大きく減少し、8月以降も徐々に減少する。生育期初期の植物体の高い含水量は白根の割合が多いこと、幹の木化が終わっていないこと、葉

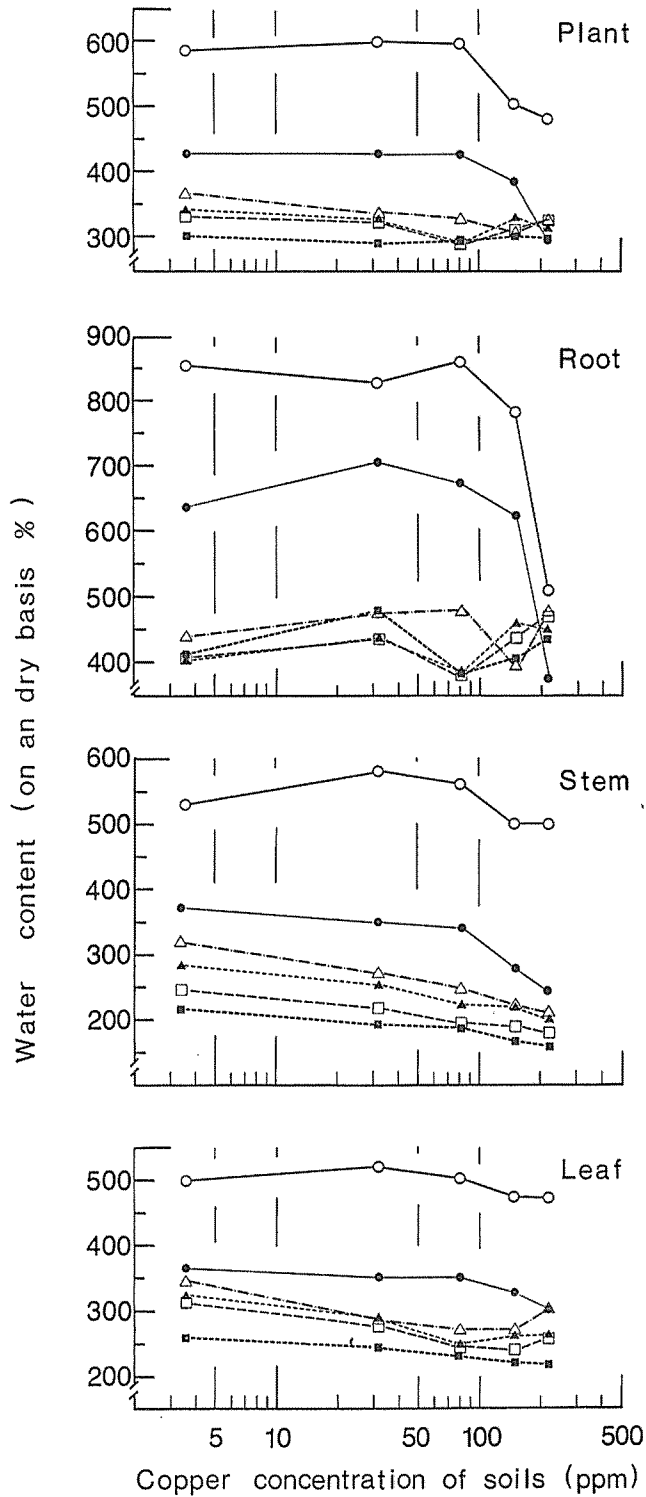


Fig. 2 The effect of excessively applied copper on water content of plant parts of one-year-old Japanese black pine

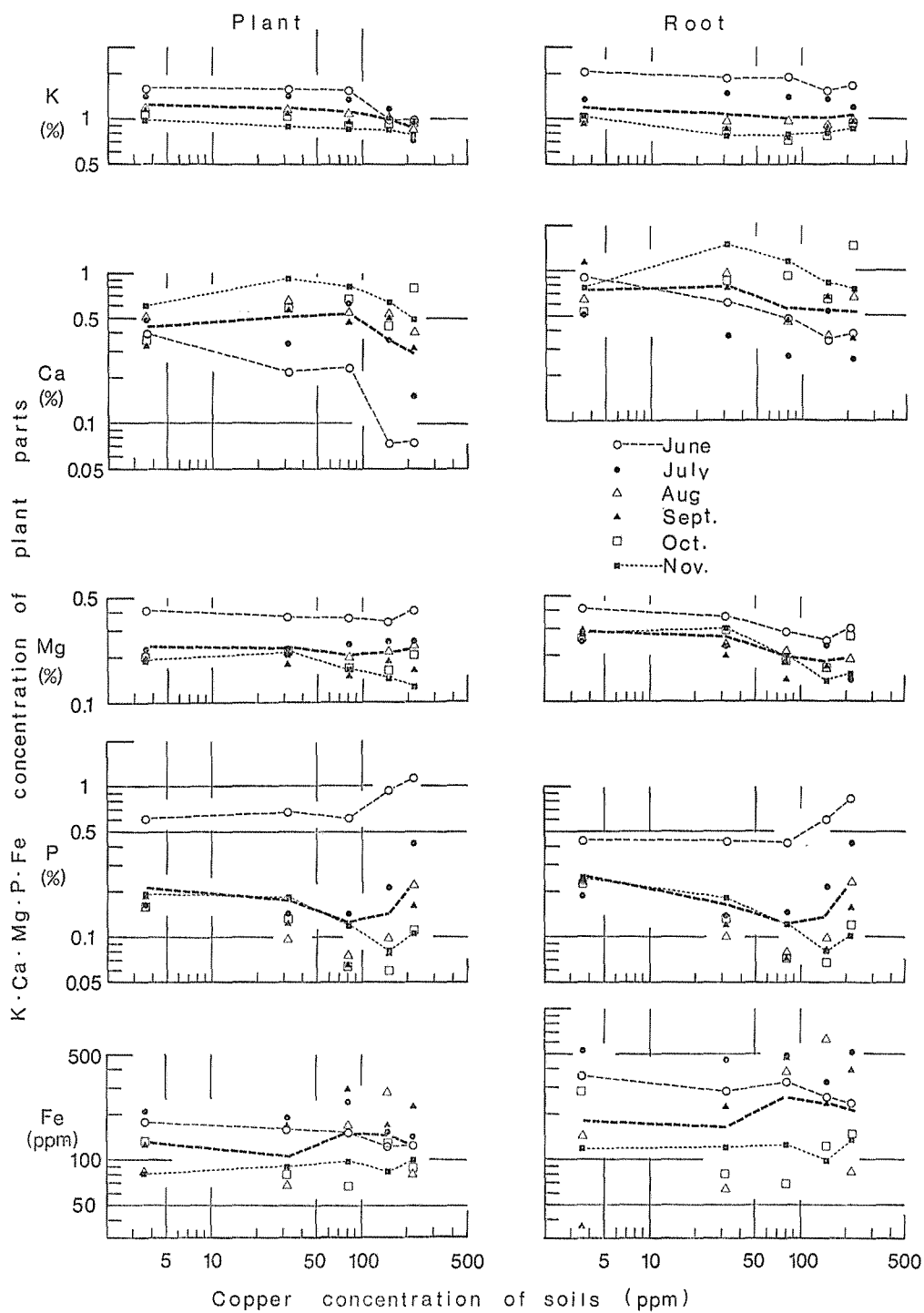
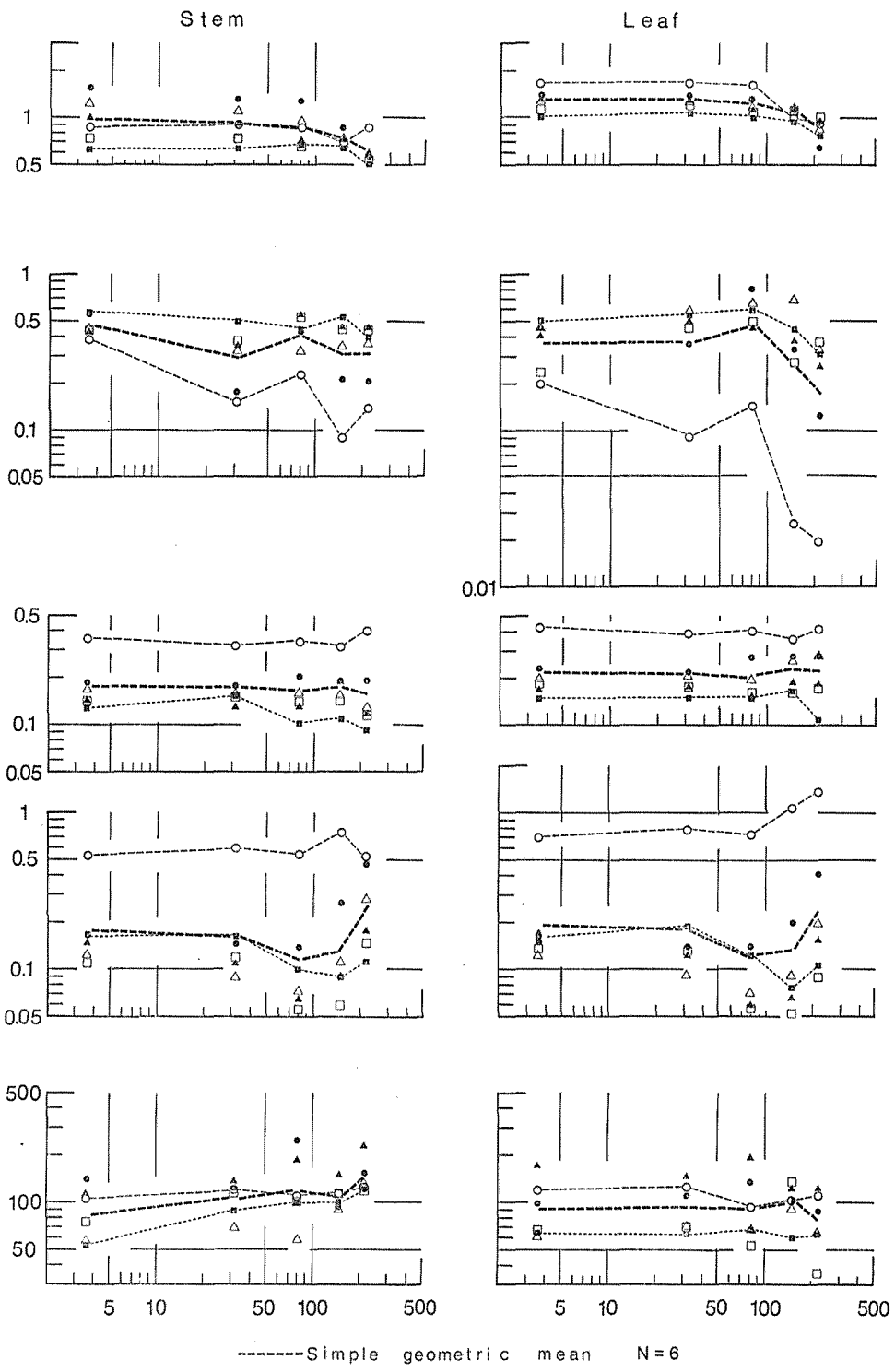


Fig. 3 The effect of excessively applied copper on mineral concentration of plant parts of one-year-old Japanese black pine



における子葉，初生葉の割合が多いことなどによるものと考えられるが，特に根の含水量が高い。

Cu 処理により植物体内の含水量は減少する。その傾向は 6，7 月の根にはっきり現われる。過剰 Cu 処理により根の伸長生長と細根の発達は著しく阻害され³⁾，このような形態的な変化が主因となって根の含水量を減少させたものと思われるが，これは地上部の含水量あるいは植物体の養分吸収に大きく影響をおよぼすものと思われる。その後，低，中濃度の Cu 処理区を中心に根量比の増加がみられ⁵⁾，根の含水量は生育期後半には Cu 処理の影響が緩和される。幹および葉の含水量も 6，7 月の高濃度処理区で低下がみられるが，幹への影響がより現われやすい。

植物にとって水は光合成および呼吸に関与し，生長に直接影響を与えるとともに，体内の生理的な代謝の場を提供する。植物体内の水分環境の変化は，各種養分量の変化と同様あるいはそれ以上に重要な意味をもつ。マツ類の体内水分量の変化と生長との関係については田崎²⁰⁾，伊藤²¹⁾ら，佐藤²²⁾による詳細な研究が報告されている。田崎は防潮林の生態学的研究の中で，当年生クロマツ苗の shoot の含水量は生育期間を通じて減少し，7 月に 350%，8 月に 250% となり，7 月の時点で含水量が 250% ぐらいに低下すると枯死現象が現われると報告している。本実験でも 7 月～8 月の幹および葉の含水量は 350% に近く，田崎の結果と極めて近い値となった。しかし高濃度の Cu を投与した処理 5 の苗の地上部の含水量は 250～300% となり，7 月～8 月にかけて高濃度処理苗が，かなり危険な体内水分条件下におかれていることがわかる。さらに 7 月の処理 5 の根長は 5 cm 未満であり，土壌の乾燥が地表面に集中するため²⁰⁾，盛夏の長期の土壌水分の不足は，高濃度 Cu 処理苗を枯死に導くものと思われる。また光合成，呼吸への影響についても，土壌水分そして植物体内の水分量の減少がアカマツ苗の光合成率を低下させ²³⁾，リングでは呼吸率が増加する²⁴⁾といった報告もみられ，生長の低下が予測される。

《植物体内養分量》

植物体の無処理（処理 1）の K の濃度変化は，試験期間中 1.0～1.6% の間で季節変動し，6，7 月に高く徐々に低下し生育期後半には濃度は安定した。器官別にみると根と葉は 0.9～2.0% のほぼ同様の濃度範囲内で変動するのに対し，幹の濃度は 0.6～1.6% と低い値となった。また幹の K 濃度は 7 月の濃度が 6 月のものより少し高く，7 月から生育期後半にかけて濃度が低下するといった葉および根とは少し異なった濃度変化を示した。これは植物体各器官の時期的な要求量と吸収，転流速度のバランスの相違によって生じたものであろう。

植物体の Ca 濃度は 0.3～0.6% の範囲で季節変動した。データにいくらかばらつきがみられるが，生育期初期から後半に向けて Ca 濃度は上昇した。それぞれの器官では，根 0.5～1.2%，幹 0.4～0.6%，葉 0.2～0.5% と根における Ca 濃度は高く，変動幅も大きい。

植物体の Mg 濃度は試験期間中 0.2～0.4% の範囲内で季節変動した。6 月の値がやや高いが，7 月には低下しその後の濃度の変動は少ない。根，幹，葉のすべての器官で 0.1～0.5% の濃度範囲内に入り器官間の濃度差は小さいが，根の濃度がいくらか高い。

P は上記 3 養分に比べ 6 月から 7 月にかけての濃度の低下が最も著しい。植物体全体の濃度は 6 月に 0.6%，7 月には 0.2% と低下し，その後の変動は少ないが，生育期後半にいくらか上昇するように思われる。各器官とも濃度の高い 6 月の値を除くと 0.1～0.25% の狭い濃度範囲内に入るがやはり根の濃度がいくらか高い。

Fe は生育期間を通じて濃度のばらつきが大きくはっきりとした傾向はつかみにくいが，各器官とも生育初期に高く，後半には低下するようである。Fe 濃度は根で 100～500ppm，幹で 50～150ppm，葉で 60～180ppm と根の濃度が最も高く，幹と葉は低く両者の濃度差は小さい。

当年生クロマツ苗は種子から子葉，初生葉，普通葉期と形態的に生育ステージを変えて生長していくため，成木に比べ養分濃度の季節的な変動幅も大きいようである^{13) 19)}。本試験結果から

K, Mg, P, Fe 濃度は生育期初期に高く、その後減少し安定する傾向がみられ、その中で Mg と P は播種後 1 か月めの 6 月の値が高いが、7 月以降の濃度変動幅は狭く、P は生育期後半にまたいくらか濃度が上昇する傾向がみられた。Ca は上記の養分と異なり生育期初期に濃度が低く後半に上昇した。各器官ごとにみると、養分の取り入れ口である根、通道的役割を果たす幹、生理的な活動の盛んな葉と各器官役割が異なり、時期的な各種養分の要求量と土壌からの吸収速度、体内での転流速度も異なりかなり複雑である。しかし一般的には各養分は根の濃度が高く、地上部では葉の濃度が高いようである。

《植物体内養分量におよぼす Cu の影響》

K 濃度への影響は比較的少なく、試験期間を通じて低濃度処理区では変化はみられない。高濃度処理区では 6 月より各器官に濃度の低下が認められるが、処理 4 ではその後回復する。11 月には最も Cu 処理濃度の高い処理 5 の葉や幹にいくらか濃度低下がみられただけである。

Ca は生育期前半から後半にかけて濃度が上昇するため、生長の遅れによる濃度の低下も加わり、Cu 処理による影響は生育期間を通じて濃度の低下が明らかである。また器官別にみると、他の養分比べ葉の濃度変化におよぼす影響が大きい。

Mg も過剰 Cu の添加により濃度は低下するものと思われる。高濃度処理の処理 5 では、6 月には生育の遅れが体内の Mg 濃度を高い値で維持しているためかえって高くなり、この傾向は植物体の各器官で同様にみられた。しかしその後濃度の低下がみられるが、比較的 Cu 処理による影響は少ない。

Cu 処理による P 濃度は低下するものと思われるが、苗自体生育初期の濃度が特に高いため、高濃度の Cu 処理区で 6、7 月に濃度が高い結果となった。器官別にみると 6 月の P 濃度は根、幹、葉では高濃度 Cu 処理区で高く、低、中濃度処理の処理 2、3 には Cu 処理の影響はみられない。しかし 7 月以降は根から地上部へと濃度の低下傾向ははっきり現われだし、処理 3 においても濃度の低下がみられた。高濃度処理の処理 4 は生育期の後半には処理区の中では最も低い値を示すが、処理 5 では 11 月に到っても生育の遅れによる影響が残る。

Fe 濃度では、根や幹あるいは低、中濃度処理苗で Cu 処理による影響は認めにくいだが、高濃度処理の処理 5 の葉においていくらか濃度が低下するようである。(図 3)

本実験結果から測定が行なわれたすべての養分は Cu 処理によって濃度の低下がみられるが、それぞれの器官への影響とその程度は植物の生育ステージとそれぞれの養分によって異なる。しかし全体的には Cu 処理による Ca, P 濃度への影響は大きく、Mg, K 濃度への影響は少ない。Fe は高濃度処理区において葉の濃度にいくらか低下がみられる程度で、茅野²⁾によって報告されている重金属による植物体内の Fe 濃度の低下は、当年生クロマツ苗ではほとんどみられなかった。各器官別にみると、Cu 処理の影響は根において大きく、地上部では、養分濃度が高く生理的な活動の盛んな葉における濃度の変化が大きいといえよう。

《土壌中の養分量》

土壌中の養分量は肥料などの各種養分の添加により変化する²⁵⁾²⁶⁾。図 4 は土壌中の Cu 濃度に対する置換性の K, Ca, Mg 濃度の経時変化を表わしている。K, Ca, Mg ともに高濃度処理区で濃度の低下がみられる。

Mg と Ca 濃度は低濃度処理区、無処理区ではおそらく施肥による影響によって、経時的にやや濃度の上昇がみられる。高濃度処理区では、Cu 処理時から濃度の低下がみられ、生育期後半にかけて土壌中の Ca, Mg 濃度はさらに低下する。この低下の傾向も Ca は Mg に比べ低濃度処理区で早い時期から現われるのに対し、Mg は生育期後半にかけて濃度の低下が大きくなる。

K はすべての処理区で試験期間中濃度の上昇がみられる。Cu 処理による影響は少なく、高濃

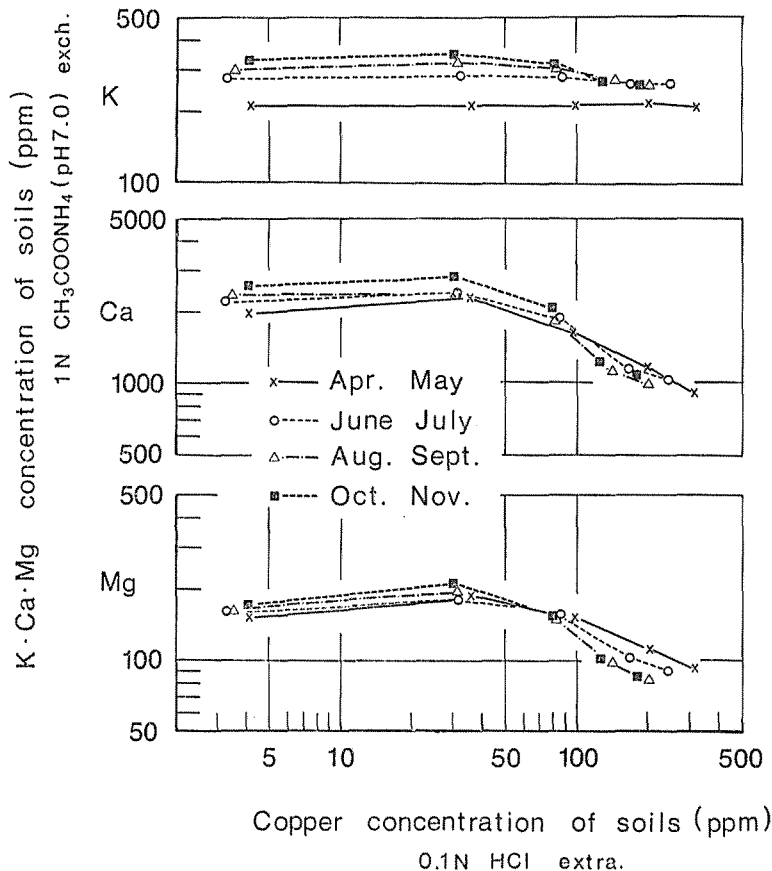


Fig. 4 The effect of excessively applied copper on mineral concentration of soils
Points show the simple geometric mean of two months respectively. N=4

度処理においても処理後しばらくの間変化はみられないが、生育期後半にはいくらか濃度の低下がみられた。

過剰 Cu の添加により土壌中の養分濃度は低下し、植物体内の養分濃度を低下させる一因になったと考えられる。しかし置換態養分量を植物が利用する可給態養分量と考えれば、ポット内に当年生クロマツ稚樹が試験期間中に必要とする養分量は充分存在した。土壌中養分量と植物体内養分量との関係についてはさらに検討が必要であろう。

このように植物体の養分量の低下は、土壌中の多量の Cu の存在による養分吸収の阻害、土壌中の養分量の低下による養分不足、根の形態的变化に伴う養・水分吸収力の低下、植物体内の Cu 濃度の上昇に影響される養分濃度の低下などが複合的に作用した結果と思われる。

引用文献

- 1) 三井進午・麻生未雄・熊沢喜久雄：作物の養分吸収に関する動的研究（第1報） 土肥誌 22 46~52 1951
- 2) 茅野充男：重金属元素の植物に対する害作用特に重金属誘導鉄クロロシスの発生機構に関する研究 茨大

- 農学術報告 15 105~164 1967
- 3) 安藤信：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 重金属汚染と樹木の生長Ⅲ 京大演報 54 31~41 1982
 - 4) 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
 - 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) 田崎忠良・田口亮平：植物生理生態学実習 37~62 1968 養賢堂
 - 7) 農用地土壌汚染対策地域の指定要件に係る銅の量の検定の方法を定める総理府令 昭和47年10月27日総理府令第66号
 - 8) 河田弘・小島俊郎：環境測定法Ⅳ 一森林土壌一 生態学研究法講座 30 73~163 1976
 - 9) 農林水産技術会議事務局：土壌および作物体中の重金属の分析法 (1)(2)(3)(4) 土肥誌 43(7) 264~270 (8) 305~311 (9) 349~356 (10) 390~395 1972
 - 10) 日向進：山梨県勝沼地方におけるブドウ園土壌の蓄積銅の実態について 土肥誌 52(4) 347~355 1981
 - 11) 日向進：土壌中における銅の行動と形態について 土肥誌 52(4) 356~361 1981
 - 12) 本間慎：環境試料中の金属の分析 ぶんせき 4 219~224 1975
 - 13) 門田正也：防潮林の生態学的研究 (8) クロマツ葉中の栄養三要素と糖分 立地自然科学研究所報告 10 16~20 1952
 - 14) 塘隆男：わが国主要造林樹種の栄養および施肥に関する基礎的研究 林試研報 137 1~158 1962
 - 15) 河田弘・丸山明雄・衣笠忠司：関西地方のアカマツ林土壌に関する研究 第1報 アカマツ針葉の養分組成(葉分析)と成長および土壌条件との関係 林試研報 199 67~97 1967
 - 16) 堤利夫・河原郵彦・四手井綱英：森林生態系における養分の循環について(1) 個体および林分の地上部の養分量 日林誌 50(3) 66~74 1968
 - 17) 小笠原隆三・渡辺孝：海岸砂丘地におけるクロマツの樹高と葉内成分の変化 日林誌 56(9) 321~324 1974
 - 18) 小笠原隆三：樹齢・葉齢によるアカマツの葉内成分の変化 日林誌 56(8) 271~275 1974
 - 19) 後藤和秋：葉分析による林木の栄養診断にたいする2・3の考察 林試研報 290 35~75 1977
 - 20) 田崎忠良：防潮林の生態学的研究(a) クロマツ当年生稚苗の生育について(1) 立地自然科学研究所報告 7 20~25 1951
 - 21) 伊藤悦夫・稲川悟一・加藤寿彦：土壌水分のちがいがアカマツ，クロマツの苗木の生育に及ぼす影響 静大農研報 3 144~152 1953
 - 22) 佐藤大七郎：スギ ヒノキ アカマツのマキツケナエの耐乾性 とくに樹種のあいだのチガイについて 東大演報 51 1~108 1956
 - 23) 根岸賢一郎・佐藤大七郎：土の水分とアカマツ・スギのナエの同化・呼吸量 日林誌 37(3) 100~103 1960
 - 24) Schneider, G.H. and Childers, N.F.: Influence of soil moisture on photosynthesis, respiration, and transpiration of apple leaves Plant Physiol. 16 565~583 1941
 - 25) 相場芳憲・沈昆禧：森林土壌の置換性 Ca, 置換性 Mg に及ぼす施肥の影響 日林誌 62(10) 402~404 1980
 - 26) 日向進：土壌中の銅の行動におよぼす各種肥料塩の影響 土肥誌 54(1) 45~49 1983

Résumé

The effect of excessively applied Cu on mineral concentration and water content of one-year-old Japanese black pine (*Pinus Thunbergii* Parl.) was investigated. The concentrations of Cu (CuCl_2) solution applied to the soils were 0, 40, 120, 260, 430 ppm respectively. The results are summarized as follows:

1) Cu concentrations of soils extracted by 0.1N HCl decrease more greatly than that exchanged by 1N $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ (pH7.0) with the advance of seasons. It seems that forms of Cu in soils exchange little between Extra. Cu and Exch. Cu in the period of experiment.

2) Water content of plant is high in June and shows a tendency to decrease greatly in

the early growing season, then the rate of decrease becomes slow from August to the late growing season. Water content of top in high concentration treatment decrease critically in July and August.

3) Mineral concentrations of plant parts of control group vary with the advance of the seasons respectively. The concentrations of K, Mg, P and Fe are high in the early growing season and after they show a tendency to decrease, they are stable in the late growing season, while P increases a little again. Contrary to these mineral, the concentration of Ca is low in June and increases with the course of time. The mineral concentration of root is the highest and that of leaf is higher than that of stem in top.

4) Mineral concentrations of plant parts decrease in high concentration treatments. The effect seems most evident on Ca and P but less on Fe. The effect of Cu on mineral concentration of root and leaf is evident.

5) The concentrations of exchangeable K, Ca and Mg in soils decrease with the increase of added Cu. The decreasing rates of Ca and Mg are greater than that of K.