

多摩川河川敷の植生遷移における生存戦略 としてのアレロパシーの関与

2004年

渡邊 泉
東京農工大学農学部助手

目 次

1 . はじめに.....	1
1 . 1 アレロパシー	1
1 . 2 生物多様性.....	2
1 . 3 外来種問題.....	2
1 . 4 河川敷の生物多様性.....	4
1 . 5 多摩川における問題.....	5
1 . 6 他感作用が遷移に与える影響の可能性.....	5
2 . 試料と方法	7
2 . 1 河川敷植生構成種における他感作用活性の把握.....	7
2 . 2 土壌の化学性および出水の影響評価.....	9
2 . 3 丸石河原固有種および周辺植物の他感作用活性.....	11
2 . 4 ニセアカシア林と周辺植物の他感作用活性.....	12
2 . 5 土壌存在下での他感作用活性の検定.....	13
2 . 6 生育環境における pH の変化試験.....	14
3 . 多摩川河川敷の植生構成種の他感作用	16
3 . 1 全体の特徴.....	16
3 . 2 分類群における特徴	18
3 . 3 つる植物の他感作用活性.....	28
4 . 河川敷土壌の化学性および出水が及ぼす影響	30
4 . 1 土壌物理性と化学性.....	30
4 . 2 出水による化学性の変動.....	33
4 . 3 EC と主要イオンの関係.....	34
4 . 4 イオンバランスによる土壌の分類.....	35
5 . 丸石河原固有種と周辺帰化植物	36
5 . 1 丸石河原で見られる植物における他感作用活性.....	36
5 . 2 コセンダングサ.....	37
5 . 3 オオアレチノギクとヒメムカシヨモギ.....	38
5 . 4 メマツヨイグサ.....	38
5 . 5 シナダレスズメガヤ, ネズミムギとエノコログサ.....	39
5 . 6 ニセアカシア.....	40

5.7	オニウシノケグサ.....	40
5.8	カワラノギク.....	41
6	ニセアカシア林と周辺植物.....	44
6.1	ニセアカシア林に生育する植物の他感作用.....	44
6.2	土壌存在下での他感作用の発現.....	44
7	他感作用活性の季節変動.....	47
7.1	各種における季節変動.....	47
7.2	変動パターンによる分類.....	50
8	植生中における他感作用寄与の可能性.....	53
8.1	根部の他感作用活性の検定.....	53
8.2	葉部および根部を含めた Impact Factor.....	53
9	土壌 pH の変化が他感作用活性に及ぼす影響.....	55
9.1	サンドイッチ法による pH とリーチング特性の検討.....	55
9.2	抽出法による pH とリーチング特性の検討.....	55
10	おわりに.....	57
	謝辞.....	58
	引用文献.....	59

1. はじめに

日本を代表する都市河川である多摩川は、前世紀より劇的な環境変化の進行が指摘されている。その変化は 1960 年代前後の、いわゆる環境汚染の時代から時の流れに沿って変質し、幾つかのフェイズを経ている。本研究は、21 世紀初頭に進行している変化の中から「河川敷植生の変化」に注目し、「化学的なモノサシ」を用い解析を試みたものである。

背景として、侵入植物による河川敷生態系の攪乱および窒素飽和や酸性雨に代表される化学環境の変化があり、アレロパシーという比較的新しい概念がこの両者の架橋的な存在である点がキー・ワードとなっている。つまり、植生の遷移という生態学の分野に属する現象を、化学物質の放出による作用という視点で俯瞰することで、上述した多摩川河川敷で起きている環境の変化を新たな角度から解析できる可能性に着目した。

以下は、このようなアイデアからスタートした本研究の背景を幾つかのキー・ワードごとにまとめた。

1.1 アレロパシー

すべての生物は種内・種間で、相互に干渉し合い生育している。植物は動物と異なり、生育の場を能動的に変えることができないため、自然環境の変化に対し鋭敏に反応したり、あるいは他の生物に対して防御物質を生産する等の手段を用い、自己の生命を守る機能を持つ（長谷川ら、1992）。空間や光、水、栄養塩をめぐる植物間の競合に加え、微生物・昆虫類そして草食動物から身を守るための働きも含まれ、その中で植物自身が生産する化学物質が他の生物に及ぼす作用をアレロパシー（allelopathy 他感作用）という。

他感作用の一般的な定義は、「植物が放出する化学物質が他の植物に阻害、阻害作用、あるいは促進作用などの何らかの影響を及ぼす現象」とされる。この概念は Molisch（1937）によって提唱され、その後、縮小、拡大解釈された。現在、もっとも広義な定義は、「高等植物、菌類、微生物、動物、魚類、昆虫、線虫などのある生物個体から放出される化学物質が、同種の個体を含む別の生物個体あるいはこれらの要因となる生理・生化学的機構に対して、有害、有益を含む何らかの影響を及ぼす現象」とされている（藤井・安田、1987）。

他感作用は、その作用に選択性があることが特徴的である。すなわち、他感作用物質による促進あるいは阻害作用は、特定の種に対して影響をおよぼすが、他の種には影響を及ぼさないケースが多い。続（1978）は、オオムギなどいくつかの植物について他感作用活性の検定を行い、他感作用物質の作用は、特定の植物に対して著しい影響を及ぼし、他の植物に対しては何の影響も及ぼさない、特異性を指摘した。

他感作用の作用経路は Tukey（1969）によって leaching（雨や霧による葉からの浸出）、exudation（根からの滲出）、volatilization（揮発性物質の揮散）、および litter（植物体残渣の蓄積）の 4 つに分類されている。環境中に放出された化学物質がこれらの経路を経て引き

起こす植物間相互作用である他感作用は、いわゆる光や栄養素、水分などの競合とは区別される (Rice, 1984)。

アレロパシーという現象は、古くは紀元前 300 年頃のヒヨコマメ *Cicer arietum* に報告されており (Rice, 1984)、日本においても約 300 年前の古文書にアカマツの他感作用を示唆する報告がある (Lee・Monsi, 1983)。現在まで、他感作用は自然生態系や耕地・草地等における観察から数多く類推されているが、実際の環境下においては他感作用以外に競合などの植物間相互作用が同時に起きている。しかし、植物間の相互作用における競合と他感作用の相対的寄与率に関する報告は少なく (Ridenour・Callaway, 2001; Nilsson, 1994)、特定の現象が他感作用によるものと実証することは非常に困難といえる。したがって、特定の植物間における相互作用が、他感作用による現象であると実証するためには、他の要因を排除した条件で検定をおこない、原因を特定し、他感作用物質が実際に作用していることを証明されなければならない (藤井ら, 1990)。

1.2 生物多様性

地球上の生物多様性が発展するためには、地理的な障壁といった空間的隔離に起因し、個体間もしくは種間の交雑が妨げられること、さらに種間相互作用が制限されることが必要と考えられている (鷲谷, 1998)。同一の生物学的種が遺伝子レベルで隔離されることは、異なった環境下で適応進化を遂げさせ、結果として別種への分化を引き起こした。また、強力な競争者、捕食者、病原生物の分布が地理的に限定されることで、種間相互作用が制限され、地球全体として種数が増加し、各環境に応じた固有の生物相が形成されてきた。

生物の多様性は遺伝子、種または個体群、群集または生態系、景観の四つのレベルからなる組成的、構造的、機能的階層性を備えた概念とされる (Noss, 1990)。これら四つの階層要素は、それぞれ下の階層要素と密接な関係となる。遺伝的多様性は種や個体群の多様性を構成し、種の多様性は生態系の多様性を導き、生態系の多様性は複数の生態系を内含する景観の多様性を構成する。つまり、生物多様性は、生物間の相互作用や生育条件における要求性の多様性および無機環境-生物相相互作用の多様性も構成要素とする。そのため、従来の種多様性や自然度のような一元的な価値尺度とは異なる、いわば多元的な尺度である。現在、無機環境と生物群集の相互作用系である景観レベルで、生物多様性を捉えなおすことが、極めて重要な課題とされている (鷲谷・矢原, 1996)。

1.3 外来種問題

外来種 (alien species) とは、過去あるいは現在の分布域外に導入された種、亜種もしくはそれ以下の分類群であり、生存し、繁殖することが可能なあらゆる器官、配偶子、種子、卵、無性的繁殖子を含む (村上・鷲谷, 2002)。外来種が、生態系や生物多様性、人の健康、

生命および生産活動に対してもたらず、マイナスの影響やそこから生起する問題を総称して外来種問題と呼ばれている（村上・鷲谷,2002）。

生物は本来、移動・分散能力の限界や地理的な障壁により分布が制限される。この隔絶は、生物種に独自の進化をもたらす。しかし、現在は人間活動による意図的または非意図的な生物の導入が行われ、その一部は本来の生育場所以外のサイトに定着する（鷲谷・矢原, 1996）。一方で、農耕地や市街地、植林地など、人為的干渉が大きく、本来自然界に存在しない環境が増大した現象に起因して、新たなニッチが生まれたこと。その結果、攪乱地や荒地に適應していた一部の生物種が分布を広げ、コスモポリタンという地球規模で分布する種を生じさせた。このような地球規模の生物相の均質化は急速に進んでいることが指摘されている。

外来種による影響は、1) 生物間の相互作用を通じて在来種を脅かす、2) 在来種との交雑によって遺伝子を汚染する、3) 生態系の物理的な基盤を変化させる、さらに、4) 人間活動に対して影響を与えるといった項目に分類される。なかでも最も深刻な問題は生物多様性の低下であり、早急な対策が必要とされている。

わが国に生育する雑草の中で、帰化雑草の種数は増加の一途を辿り、前世紀後半には 700 ~ 800 種に達したと指摘されている（近内, 1988）。侵入植物は、侵入後 10 年を経過した種について、その土地へ完全に適應したとし、帰化雑草（Naturalized weed, Alien weed）と命名され、定着とみなされる（近内, 1988）。そもそも植物は風や水、動物の作用等により遠くへ運ばれ拡散してきたため、伝播先では外来植物として侵入した現象となる。しかし、前述したように、生物の分散は地理的隔離の結果、制限され、特定の種が地球全体に広がることはないと言われる。しかし、近年、物資およびヒトの長距離輸送は日常化し、地理的な障壁が有効な隔離としての機能を失う現象を引き起こしている。日本においても、外来植物の生物学的侵入（Biological invasion）は著しい。侵入の方法として、緑化などを目的に導入された植物が逸出し野生化するケース、および輸入物資や穀物に混ざり非人為的に侵入するケースがある（鷲谷, 1998）。

侵入植物は、原産地の荒地や氾濫原、乾燥地など攪乱地に適應した植物であることが多く、厳しい環境下においても人為干渉の影響が大きい環境下でも生育が可能である。その結果、世界中に広がった種をコスモポリタン（地球規模での分布が広い種）と呼称している（鷲谷, 2000）。とくに、わが国は高温多湿で土壌も肥沃なため、外来植物の生長に好適な条件を備えており、熱帯植物や砂漠地の植物を除き、ほとんどの外来種が定着してしまうことが指摘されている（近内, 1988）。

このような侵入植物は、侵入先に新たな生物間相互作用をもたらす、地域固有種を衰退さらには絶滅へ追い込む等の生態系変質を招く可能性が考えられている（鷲谷, 2000）。日本においても、古来から培われた自然が急速に喪失し、かわりにセイタカアワダチソウなどのコスモポリタンが占有する現象が発生した。鷲谷（1997）は、その景観を、「どこか乾いた国籍不明の景色」と呼んでいる。コスモポリタンの蔓延と地域固有種の衰退は、地球規

模での生物相の均質化を促進させており，ハビタットの喪失や分断，孤立化，さらには乱獲，過剰利用とともに生物多様性を脅かす要因の1つとして認識されている（鷲谷・矢原，1996）．

1.4 河川敷の生物多様性

近年，深刻化する生物多様性の低下に対し，わが国では1993年発効の生物多様性条約に基づき，生物多様性国家戦略を定め，地域ごとの保全計画立案を試み始めている．河川は，陸域・水域・空域の無機環境が接するエコトーン（推移帯）であり，多様な植生と動物群集が残存する貴重な環境である（佐々木，1996）．都市部においては，原生的な自然の残る場所としてさらに貴重な存在となる（鷲谷・矢原，1996；Green *et al.*, 1994）．

河川敷は，かつて低地に広がっていた氾濫原の名残りといえる生態系が残されており，「区域内の環境要因の違いにより特徴づけられる重要な生態系」（環境省，2001）の1つに位置付けられている．また，国土交通省河川局は「わが国における生物多様性保全の重要な場」とし重要な生態系と位置付けている．流水の年間，もしくは季節変動のため，数年単位の短い期間で河川敷の地形は変化する．このような立地においては，生物群集の更新が短期間で進行するが（佐々木，1996），植物群集においても例外ではない．その大部分は草本植物であるが（浜端，1996），なかには，河川のみで生育する固有種も存在し，多くは中流域に生育することが指摘されている（浜端，1996）．河川の中流域における砂礫質の丸石河原および河原固有の植物，下流の沖積平野におけるオギ，ヨシあるいはスゲ類などの湿性草原，ハンノキ，クヌギ，エノキからなる河畔林が河川敷の生態系を特徴づけている（鷲谷，2000）．

河川環境の中で特に，中流域に形成される丸石河原は，河況係数の大きい我が国の河川を特徴づける環境として注目されている．丸石河原は，乾燥，貧栄養，および洪水による攪乱を受ける特殊な環境であり，多様な生育場所がモザイク状に分布する．その結果，丸石河原固有植物を代表とした河川特有の多様な生物相がみられる，いわば特徴的な生態系である．規模や頻度が適度な一斉攪乱は生態系の種多様性を増し（Connell, 1978; Fox, 1979），河原の生態系は出水という物理的攪乱をうけることで生物多様性を保っていると考えられている．また，その物質循環も洪水の作用を甚大に被る．

河川敷植生の構成と分布は，水面からの高さ，冠水頻度，冠水期間，土壌水分，土壌組成に大きく影響されるとされる（倉本ら，1993）．河川の中流域では冠水頻度の高い低水敷にタデ科などの一年生草本やツルヨシが生育し，ある程度水面から高く，乾燥した礫質の中水敷にはカワラヨモギ，カワラハハコなどの河原固有植物がまばらに生育し，湿性な高水敷にはオギなどが密な群落を形成する（梅原，1996）．

1.5 多摩川における問題

近年，河川敷における生物多様性の低下は著しく，外来植物の侵入が憂慮すべき問題となっている（鷲谷，1998；鷲谷，2000）．鷲谷と矢原（1996）はその理由として，湿地や河川敷の水辺環境に絶滅危惧植物が集中していることを挙げ，河川敷が我々にとって身近な原生的環境であることを指摘している．

代表的な都市河川である多摩川は，戦後の水質悪化や流量制御，砂利採取などの結果，流路が固定化され，大規模な洪水が減少し，河川敷の土壌は細粒化し加えて富栄養化が進行している（倉本，1995）．このような変化に伴う植生の変化も著しく，帰化植物を始めとする好窒素性植物が増加し（奥田，1978；倉本ら，1993），一方で，丸石河原の代表植物は減少していることが報告されている（倉本ら，2000）．上述してきたように，河川敷における植物相の変化は既存の生物間相互作用を破壊し，虫や鳥類を通じ生態系へ大きなダメージを与える可能性が考えられている（鷲谷，2000）．

河原固有の植物に関しては，危急種であるカワラノギク *Aster kantoensis* の生態学的特徴を中心に，衰退のメカニズム解明が行なわれてきた（倉本ら，1992；Inoue *et al.*, 1994；倉本・井上，1996；Takenaka *et al.*, 1996；倉本ら，1997；Washitani *et al.*, 1997；Inoue *et al.*, 1998 など）．また，河川敷において最も深刻とされる帰化植物（鷲谷，1998；鷲谷，2000）は，セイタカアワダチソウ *Solidago altissima* やオオブタクサ *Ambrosia trifida* のほか，イネ科の牧草であり，これらは河川敷に広く分布し，河原固有種を圧倒している．さらにニセアカシア *Robinia pseudo-acacia* は，本来河畔林の成立しない多摩川の樹林化を促進している．

李ら（1999）は，多摩川永田地区における自然裸地の減少と樹林地など，安定植生域の増加について，砂利採取などに起因する河道の低下が複断面化を招き，出水時の土壌堆積を促進していることが原因であると指摘している．土壌と植生に関する研究は，微地形と土壌物理性からのアプローチが多く，土壌化学性との関係を明らかにしたものは少ない．

1.6 他感作用が遷移に与える影響の可能性

他感作用は，農業生産の場において雑草による作物の生育障害，作物自身による連作障害の要因として注目されている（土屋，1990）．近年では特に，被覆植物の他感作用を利用した雑草および病害虫防除に焦点をあてた研究も進められている（藤井ら，1993；Chase *et al.*, 1991 など）．一方で，実際の生態系において他感作用は，物理的環境の変化，栄養素の変化，植物生活史の変化および，これら諸要因の複合作用に加え，植生遷移（とくに自動遷移）において重要な役割を担っていることが指摘されている（沼田，1977b；Rice, 1984）．

他感作用が植物群落内で及ぼす役割についての研究は Rice（1984）をはじめ相当数のものがあるが，日本では沼田（1977b）や山本（1999）などが挙げられるのみで，その数は多くない．遷移における他感作用の関係を明確に証明するのは困難とされる．その理由として，他感作用の検定法が確立していないこと，他感作用の存在が示唆されても実環境における

活性の評価は困難であること、遷移が多様かつ複雑な動態に支配されることなどが原因と考えられている。

前項で述べたように、近年の日本における外来植物の全国的な侵入・定着が指摘され、新たな侵入植物の定着および蔓延の原因として、高い光合成能力や種子生産能力等の特徴および天敵・寄生者を原産地に残して入ってくること（鷲谷，2000）が考えられている。しかし、さらなる要因として、他感作用による化学生態的な侵略も推察される。とくに侵入植物が、侵入先で存在しなかった他感作用物質を生産する場合、その効果は原産地における現象より高くなることが予想される。その根拠として、他感作用が進化の過程で植物間干渉作用の中で発達し、いわば共進化の形態でその能力を増大させてきたことが挙げられる。藤井（2000）は、他感作用により1種が優占することはなく、逆に拮抗的作用として働くことで生物多様性の増大に寄与してきた可能性を指摘している。

他感作用が植生構成種の交替や分布に与える影響は重視されてはじめており、深刻化する帰化植物の蔓延に関して、化学生態学的な視点からの研究は重要な位置を占めることが考えられた。

このような背景から、本研究は、多摩川河川敷における植生の変化を化学的な視点で解析し、その生態系保全に有効な知見を提示することを目的とした。つまり、外来種と在来種の生存戦略としてのアレロパシー活性に注目し、絶滅が危惧される丸石河原固有種の感受性にくわえ侵入種の評価を行うことで、劇的に変化する多摩川河川敷の植生遷移における他感作用の寄与を検討した。くわえて、近年、深刻化の一途をたどる酸性雨の降下が、河川敷の化学環境を変化させる可能性も予測し、生存戦略としてのアレロパシーにどのような影響を及ぼすか、その検討も行った。

2 試料と方法

アレロパシーという切り口によって多摩川河川敷で進行している植生変動の解析を試みる本研究は、大きく三つのアプローチによって遂行された。一つは「植物」自体、二つ目は「生育環境」としての土壌、そして第三のアプローチは「植物と生育環境のコンビネーション」である。

比較的新しい概念として認知され始めたアレロパシーは現在、その応用として雑草管理等へ利用が模索されているにも関わらず、依然、実際環境における作用発現を疑問視する指摘も根強い。その根拠とされる最大のクエスチョンこそ、生育環境である土壌との相互作用である。つまり、土壌を介さない実験系においてアレロパシーの存在は明らかである。しかし、一旦、複雑な諸条件を有する土壌を介すと、粒子への吸着や生物作用による変質が無視できないものとなり、しかもこのブレーク・スルーが未だ模索中であるというのが現状である。

以下は、本研究がこれら問題の解決のため採用したモノサシである実験方法をまとめた。アレロパシーは葉部および根部からの活性を判定し、植物は多摩川の実環境に自生する試料と研究室での栽培個体を用いた。調査の過程において研究の主役として丸石河原固有の植物、その中からカワラノギクに着目したアプローチを行い、後半は対局に位置する悪役として侵入種、その中から特にニセアカシア林に焦点を当てた実験デザインを設定した。

生育環境として、実際の河川敷土壌に加え、バイオアッセイにおける培地へ土壌を添加する方法（根圏土壌法）、さらには生育環境の pH 変化による影響を検討するため実験方法自体の検討も行った。フィールドは、全体把握のための試験的期間であった 2001 年は中流域の数地点で試料採取を行い、2002 年および 2003 年は永田地区に絞って詳細な試料採取を行った。

2.1 河川敷植生構成種における他感作用活性の把握

調査地点の概要

山梨県笠取山に源を発する多摩川は、いくつもの河川を合流し、東京都西部から神奈川県と東京都の境界を流下し、東京湾に注ぐ一級河川である。延長 138km、流域面積 1240km² であり、流域は山梨県、東京都、神奈川県の 2 区 22 市 3 町 3 村におよぶ。流域内の行政区画人口は約 540 万人に達する代表的な都市河川である。また、都市域を流れる河川としては比較的自然が残されていることが指摘され（小倉，2000）、1980 年には全国に先駆け、建設省（現 国土交通省）により河川環境管理計画が策定されるなど、環境施策においても先進的な河川といえる。

試料の採取が主に実施された永田地区は、多摩川の中流域に位置し、河口から約 51.8km

上流の地点（永田橋）から約 53.3km 地点（羽村大橋）までの約 1.6km の区間である。右岸側はあきる野市と、左岸側は福生市および羽村市に接している。直上にある羽村取水堰は東京都の都市用水が採取され、その後 $2\text{m}^3/\text{s}$ が放流されており、水量は年間を通じて安定している。河道は一部、根固め等の護岸が施されているが、低水路部はなされておらず、中流区間には特有な砂礫の河原が広がる。永田地区の右岸側は、多摩川河川環境管理計画において「生態系保持空間」と位置づけられている。

試料

2001 年 7 月に、多摩川中流域の河川敷の各微地形（低水敷、中水敷、高水敷、堤防）に自生する 15 科 56 種の植物葉を合計 63 サンプル採取した。採取した植物の詳細を Table 2-1 に示す。試料の採取は、おもに多摩川本来の環境が残る永田地区右岸（河口より 53.1 ~ 51.7km）において実施した。また是政橋 - 関戸橋間において、人工堤防に特有な種を中心としたサンプリングも随時行なった。セイバンモロコシ *Sorghum halepense* については、花期である 2001 年 10 月にもサンプリングを行なった。両採取時ともにサンプリングまでの一週間、降雨はみられなかった。

2002 年は 4 月、6 月、8 月 ~ 10 月および 12 月に、多摩川永田地区（あきる野市）右岸で 58 種、合計 150 サンプルを採取した。2003 年も同地点において 6 ~ 10 月に、ニセアカシア、メマツヨイグサ、オニウシノケグサおよびクズを重点的に採取した。

サンプリングはすべて日中に行った。2002 年の採取月における降水量および平均気温、参考値として 2001 年および平年の降水量および平均気温（青梅气象台提供）を Table 2-2 に示す。

方法 ~ サンドイッチ法 ~

採取した植物葉は蒸留水で洗浄後、60 の通風乾燥機で 24 時間乾燥させた。乾燥後、実験に供すまでチャック付ポリ袋に入れ密封し、デシケータ内で保存した。他感作用活性の検定はサンドイッチ法（藤井，1994）を用いた。

検定植物として、他感作用に対する感受性が高く広くアッセイに利用されているレタス *Lactuca sativa* ver. (Great Lakes 366, タイキ種苗) を選択した。検定植物の培地への包埋量は、藤井（1994）に従い、 $10\text{mg} \cdot 10\text{cm}^2 \cdot 10\text{ml}^{-1}$ 、および $50\text{mg} \cdot 10\text{cm}^2 \cdot 10\text{ml}^{-1}$ と設定した。ここで、試料の十分量が用意できなかった種については $50\text{mg} \cdot 10\text{cm}^2 \cdot 10\text{ml}^{-1}$ のみで実験を行った。

組織培養用 6 穴マルチディッシュ（ヌンク社製）の各穴（直径 35mm、深さ 18mm）に供試植物の乾燥葉を上記に従い秤取後、オートクレーブを用い 115 で 15 分間滅菌し、40 ~ 45 にした寒天液を 5.0ml 分注した。このときサンプル葉は浮遊した状態となるが、そのまま一旦ゲル化させた。室温にて冷却、さらに寒天液 5ml を加え、試料葉をサンドイッチ状に挟んだ状態で再びゲル化させた。

培地として用いた寒天（和光純薬特級）は濃度を 0.75%（w/v）とし調整した．寒天培地上に，検定植物であるレタス種子を 1 穴（10cm²）につき 5 粒置床した．

同一の供試植物について，処理は各包埋量あたり 3 穴，すなわち 3 反復で行なった．置床後，20℃，暗条件下で 3 日間インキュベートし，幼根および胚軸の伸長を測定した．同時に，植物の乾燥葉を含まない対照区を設け，対照区で生育した検定植物の伸長に対する比（対照区比，%）を求めることで活性の判定を行なった．

なお，レタスの幼根および胚軸の伸長は，培養 3 日後の時点では直線的伸長期にあり，乾燥葉の浸出物質は，幼根および胚軸の伸長速度のみならず，レタス種子の発芽開始の速度に対して影響を与える．サン ドイッチ法による測定結果は両者に対する影響を含んだ結果となる（猪谷ら，1998）．

2.2 土壌の化学性および出水の影響評価

2001 年夏期の多摩川の出水状況

2001 年は夏期に二度，勢力の強い台風第 11 号および第 15 号が関東地方に上陸した．台風による豪雨は，本来の河川敷植生を特徴付ける出水を引き起こす．そのため，2001 年の土壌環境を解析することは劇的な変化が指摘されている多摩川における河川敷環境の評価に有効となることが考えられた．

2001 年の台風とともに多摩川の出水状況を Table 2-3 に示す．最大流量は，永田地区の上流にある調布橋地点のデータを示した．調布橋から永田地区までの間に支流の合流はなく，この地点は永田地区での流量を最も適切に表していると判断し，調布橋地点のデータを採用した．流量データは京浜工事事務所から提供された．

Fig. 2-1 に過去 30 年間の調布橋における年最大流量を示す．過去 30 年の値と比較すると，台風第 11 号によりもたらされた洪水は，数年に一度起こる程度の小規模な洪水であった．台風第 15 号によりもたらされた洪水は，1974 年の台風 16 号による出水，1982 年の台風 10 号の出水に次ぐ規模の大きな洪水であった．1974 年および 1982 年の 2 つの出水は，永田地区の高水敷に土壌を堆積させ，複断面化を促進し，現在のような安定植生域が拡大する原因となった出水である．

土壌試料

採取した試料の詳細を Table 2-4 に示す．また，Fig. 2-2 に試料採取地点を示した多摩川の略図を示す．サンプリングは 2001 年 6 月に関戸橋 - 是政橋間において，同年 7 月～9 月には多摩川永田地区において実施した．8 月のサンプリングは，台風第 11 号による洪水後，9 月のサンプリングは台風 15 号による洪水の直後も設定した．

李ら（1999）は，永田地区において堆積厚，粒径組成，比高および植生の点から 3 タイプの微地形（1 型，2 型，3 型）を分類した．1 型はコセンダングサなどが優占する礫質

の裸地，2型はツルヨシやイヌコリヤナギが優占し，ある程度堆積の進んだ地点，3型は堆積および細粒化が進んだススキ，オギ，オオブタクサおよびニセアカシアが優占する安定植生域である．永田地区における土壌の採取は，水面から堤防に向かって，各タイプが典型的に展開する地点（永田地区右岸；河口より約 52.9～53.0km の中間地点）において実施し，1型，2型および3型について，それぞれ土壌を採取した（それぞれ T-1,T-2,T-3 とする）．出水後の採取も同地点において行なった．

是政橋付近における採取は，河原を代表する植物であるカワラサイコ *Potentilla chinensis* が生育する礫質の中水敷（K-1），ギシギシ属などが生育する水際の低水敷（K-2），是政橋橋梁横の近年造成されたと思われる堤防法面（K-3），オギが密生する高水敷（K-4）において行なった．

関戸橋付近における採取は，カワラサイコが生育するイネ科草地（S-1），カワラサイコおよびイネ科雑草が生育する石積堤防の法面（S-2），カワラサイコが自生する関戸橋橋梁横の高水敷（S-3）において行なった．是政橋，関戸橋付近における採取は，全て左岸で行なった．

試料は表層から深さ 15cm までの土壌とし，各地点の代表値を得るため，互いに約 1m 以上離れた 3 点から採取したものを混合し 1 反復とし，1 地点につき 3 反復を採取した．

化学分析

土壌試料は採取後，直ちに持ち帰り，酸化還元電位（Eh）を測定した．その後，60 日数日間放置し風乾土とした．風乾土は，2.0mm メッシュのプラスチック製のふるいをを用い篩別し，2.0mm 以下の画分を分析に供試した．風乾試料は，分析までスチロール製の容器に密封し，冷所保存した．

風乾細土に蒸留水を 5 倍量注ぎ（土壌：水=1：5），1 時間振とうさせ，水浸出溶液を得た．この溶液を用い，pH，電気伝導度（EC），水溶性陰イオン（ NO_3^- ， NO_2^- ， HPO_4^- ， Cl^- ， SO_4^{2-} ），および水溶性陽イオン（ NH_4^+ ， Ca^{2+} ， Mg^{2+} ， K^+ ， Na^+ ）を測定した．

酸化還元電位（Eh）は，西垣ら（1962）の方法を参考とし測定した．つまり，適量の生土に，軽く混合しながら脱気した蒸留水を加えた．脱気水の量は，土壌から水が流れ出ない程度とした．ポータブル伝導度計（東亜 RM-12P）を用いて電位差（mV）を測定し，水温に応じた比較電極の電位値を補正として加え，Eh とした．

pH（ H_2O ）は，1：5 水振とう溶液を pH メータ（堀場 pH METER F-11）にて測定した（藤原ら，1996）．EC は，同溶液を EC メータ（東亜 CM-14P）にて測定した．

水溶性陰イオンは，1：5 水振とう溶液を 0.45 μm のクロマトディスクで濾過後，高速液体クロマトグラフィー（日立 L-6000）にて分析した（亀和田，1997）．高速液体クロマトグラフィーの分析条件を Table 2-5 に示す．水溶性陽イオンのうち， NH_4^+ は振とう液をろ紙で濾過後，インドフェノール青色吸光光度法（島津 UV1200）（日高，1997）にて測定した． Ca^{2+} ， Mg^{2+} ， K^+ ， Na^+ は，濾過した振とう溶液を適時希釈し，原子吸光分析法（日立 Zeeman

Z6100)(亀和田, 1997) により測定した .

また, 湿土および乾燥土について, 土色表に基づき土色を記載した . 土性について簡単な診断を行なった .

2.3 丸石河原固有種および周辺植物の他感作用 活性

供試植物の選定

供試した植物の詳細を Table 2-6 に示す . 倉本ら (1992) は, カワラノギク *Aster kantoensis* を含む群落および隣接する群落に出現する種について調査し, 出現頻度の高い種を報告している . 人為的に裸地を造成し, カワラノギクを実環境下で生育する場合, これらの種が侵入もしくは干渉してくる可能性が予想される . 供試植物は, 今後のカワラノギクの保全を行なう上での有効な知見となるよう, 倉本ら (1992) の報告に基づいて行ない, 帰化植物オニウシノケグサ *Festuca arundinacea*, ニセアカシア *Robinia pseudo-acacia*, メマツヨイグサ *Oenothera biennis*, コセンダングサ *Bidens pilosa*, オオアレチノギク *Erigeron boneriensis*, シナダレスズメガヤ *Eragrostis curvula* の 6 種を選定した .

オニウシノケグサは, 主要品種であるケンタッキー 31 の系統であるフォーン, 2001 年 6 月に多摩川関戸の高水敷において種子を採取した種自生種, および緑化用の矮小種ピュアゴールドの 3 種を栽培した . これらに加えて, 堤防から河原まで幅広く侵入しているネズミムギ *Lolium multiflorum* (倉本, 1995), オープンな立地に多いヒメムカシヨモギ *Erigeron canadensis* (倉本ら, 1993), 堤防や裸地に多いエノコログサ *Setaria viridis* var. *minor* を栽培した .

カワラノギクは, その個体群が一定の場所にとどまらず, 10 年ほどで新しいハビタットに移動することが知られている (井上, 1994). その原因の 1 つとして厭地, すなわち他感物質の自家中毒的作用の関与が考えられているが, 明らかにされていない . そこで, 自家中毒的作用の可能性を検討するため, カワラノギクも栽培し, その他感作用を検定した .

メマツヨイグサ, コセンダングサは東京農工大学農学部 (東京都府中市) 構内にて, エノコログサ, オオアレチノギク, ヒメムカシヨモギ, オニウシノケグサ自生種は, 多摩川関戸 - 是政間の河川敷にて 2001 年に採取した種子を用いて栽培した .

カワラノギクの種子は 1999 年に多摩川の四谷個体群より採取され, 保存していたものを供試した . フォーン, ピュアゴールド, シナダレスズメガヤ, ネズミムギ, ニセアカシアの種子は緑化用種子を供試した .

供試植物の栽培

園芸用の桐生砂から大きな礫を取り除き, プラスチック製ポット (直径 9cm, 深さ 7cm) に満たし, あらかじめ発芽させておいた上記 13 種の種子を移植した . L16h / 28 , D8h / 23 に設定した恒温室内において各植物につき 5 連で栽培した .

施肥および灌水は、家庭園芸用液体化学肥料ハイポネックスを N-P-K：8-4-4 の比率に調整した 1000 倍溶液を 4 日毎に約 100ml/ポット与えた。河川敷の環境に近似させるため、基本的に土壌が乾ききってから（4 日毎）灌水したが、植物体が枯死しそうな場合は水道水を与えた。この条件で 1.5～2 ヶ月間栽培し、根部の乾重量が、プラントボックス法による検定の目安とされる 100mg 以上に達した時点で、プラントボックス法、およびサンドイッチ法に供した。

イネ科植物およびニセアカシアについては、堤防法面あるいは造成した河原での刈取り管理による影響を評価するため、供試 3 日前に地上部を約 5cm の高さまで刈取った。

プラントボックス法

プラントボックス法（藤井，1994）は、生きた植物体の根から滲出される物質による影響を、物理的要因を排除して検定する方法である。上記の要領で栽培した植物の根部を、生きたまま直径 3.2cm のナイロン膜製の筒に入れ、組織培養用プラントボックス（縦 60×横 60×深さ 100mm）の一角に設置した。プラントボックス内にオートクレーブで滅菌後、約 36℃ に冷ました寒天液（0.75%：w/v）を注ぎ、ゲル化させた。寒天は、ナカライテクス社の低温ゲル化寒天（ゲル化温度；30-31℃）を用いた。

植物体を設置しない寒天のみの処理区を設け、これを対照区とした。培地上に検定植物としてレタス種子（前出 Great lakes 366）を 1 粒ずつ 1cm 間隔で格子状に、計 33 粒播種した。インキュベートは栽培時と同条件（L16h/28℃，D8h/23℃）で行った。5 日後に幼根長と胚軸長を測定し、供試植物体の根からの距離を横軸に、検定植物の幼根伸長を縦軸にとったグラフの一次回帰直線を求め、その切片の値から活性の判断を行なった。試験は基本的に 3 連で行ない、刈取り処理区は 2 連で行なった。

サンドイッチ法

葉部の他感作用検定は、2.1 と同じ方法で行なった。供試した試料を Table 2-7 に示す。刈取り処理による影響を、プラントボックス法の影響と区別するため、フォーンについてプラントボックス法の供試前、供試後、刈取り処理後で比較した。それ以外の植物種については、基本的にプラントボックス法に供試する前の試料を用いた。ここで、プラントボックス法へ供試前の葉を使用できなかったケースにおいて、プラントボックス法への供試後に採取したサンプルを用いた。

また、参考試料として、園芸栽培していたノコンギク、カワラナデシコ *Aster ageratoides* ssp. *ovatus*、アワコガネギク *Chrysanthemum boreale*、およびオミナエシ *Patrinia scabiosaefolia* も供試した。

2.4 ニセアカシア林と周辺植物の他感作用活性

試料

2002 年および 2003 年の 4 月，多摩川永田地区（あきる野市）右岸において植物苗の採取を行った．採取した種は同地区において大規模な繁茂が認められるアレチウリ *Socys angulatus*，オオブタクサ *Ambrosia trifida*，カナムグラ *Humulus japonicus*，キクイモ *Helianthus tuberosus*，シロザ *Chenopodium album* を選択した．2003 年はニセアカシア *Robinia pseudo-acacia* の葉部に加え，オニウシノケグサ *Festuca arundinacea*，メマツヨイグサ *Oenothera biennis* 等の苗も採取した．

各植物苗は，葉が 2～3 枚ついているものを選定し，移植コテを用い，根を傷つけないようにして周りの土ごと採取し，ビニール製ポットに入れて持ち帰った．採取時のストレスによる影響を除くため，コイトロン内（明 28 16h，暗 23 8h）で 1 ヶ月程生育させた．植物苗には毎日水道水を与えた他，ハイポネックス 1000 倍希釈液を期間内に 2 回与えた．

プラントボックス法

根部の他感作用活性は 2．3 と同様にプラントボックス法によって検定した．

2．5 土壌存在下での他感作用活性の検定

上述のサンドイッチ法およびプラントボックス法は，ともに他感作用以外の環境要因を排除して活性を検定する方法であるが，実際の環境下では土壌による吸着や土壌微生物による分解のため，一般に活性が低下することが報告されている（Bhowmik and Doll, 1982；鬼頭ら，1998）．また，土壌の種類および土壌環境と関連した諸条件により，他感作用の活性発現に差を生じる可能性も示唆されている（Bhowmik and Doll, 1982；渋谷ら，1994）．

近年，多摩川永田地区において拡大しているニセアカシア林内では，本種からの他感作用物質の溶脱により，他種の他感作用発現に影響をおよぼしていることが推察された．そこで，実際の環境中で発現している他感作用の発現機作を検討するため，土壌添加を行った変形サンドイッチ法（根圏土壌法）を用い，土壌存在下での他感作用発現の詳細を検証した．

植物試料

試料の採取は全て多摩川永田地区右岸（あきる野市）で行った．2002 年 8 月に採取されたメマツヨイグサ *Oenothera biennis*，およびオオブタクサ *Ambrosia trifida*，10 月に採取されたニセアカシア *Robinia pseudo-acacia* およびクズ *Pueraria lobata* を供試した．

採取した植物は，蒸留水で洗浄の後，60 の通風乾燥機で 24 時間以上乾燥させ，葉部を供試した．試料はチャック付ポリ袋に入れ，供試まで密封保存した．

土壌試料

表層土壌は 2002 年 10 月に，多摩川永田地区において採取された．表面より深さ約 15cm

までの土壌を、互いに 1m 以上離れた 3 点より採取したものを 1 反復とし、以下の各地点から 3 反復を採取した。採取地点は土壌 pH の変化を考慮し丸石河原およびニセアカシア林床を設定した。土壌試料は採取後、ただちに酸化還元電位 (Eh) を測定し、60 の通風乾燥機にて乾燥させ、風乾土とした。

土壌分析および他感作用活性の検定

土壌試料は 2 . 2 と同様の方法で、酸化還元電位 (Eh), pH (H₂O), 電気伝導度 (EC) および有機態炭素を測定した。

他感作用活性検定

6 穴マルチディッシュの各穴に乾燥葉 50mg と風乾土壌 1.0g もしくは 5.0g を入れた .115 で 15 分間オートクレーブ滅菌した 0.75% (w/v) 寒天液 (和光製薬 , 特級寒天末) を 5.0ml 注入し、ガラス棒で攪拌して土壌懸濁液とした。これをゲル化させた後、さらに寒天液を 5.0ml 注入してゲル化させた。

この培地に検定植物としてレタス種子 (Great Lakes 336 , タキイ種苗) を 5 粒、置床播種した。ふたをしてセロハンテープで密閉の後、20 暗黒条件下で .3 日間インキュベートし、幼根長および下胚軸長を測定した。葉を封入しない土壌のみの対照区を設け、伸長率を算出した。2 . 1 と同様のサンドイッチ法も行い、土壌存在下での他感作用活性の変化を検討した。

2 . 6 生育環境における pH の変化試験

サンドイッチ法による、pH とリーチング特性の検討

2003 年 10 月に多摩川永田地区右岸 (あきる野市) において採取されたニセアカシアおよびニセアカシア林に生育する植物をもちいた。植物試料は洗浄後、60 の通風乾燥機で乾燥し、葉部を供試した。2 . 1 に示したサンドイッチ法を元に、pH 調整水 (*後述) および脱イオン水に寒天粉末を加え、115 で 15 分間オートクレーブ滅菌し、0.75% (w/w) 寒天溶液とした。6 穴マルチディッシュの各穴に 10ml ずつ寒天液を注入し、乾燥葉 10mg および 50mg を包埋した。脱イオン水の pH 非調整区については包埋量を 1.0mg および 5.0mg でも実験を行った。葉を入れない対照区を設け、幼根および下胚軸の伸長比により活性を判定した。

抽出液法による pH とリーチング特性の検討

佐藤ら (1998) の方法を参考に、植物試料からの抽出液を作成した。2002 年 8 月から 2003 年 10 月にかけて多摩川永田地区右岸で採取されたニセアカシアおよびオオブタクサにくわえ、比較植物として *Ambrosia trifida* およびメマツヨイグサを供試した。試料は洗浄後 60

の通風乾燥機で乾燥の後、ミルで粉碎した試料粉末 50mg を 100ml 容三角フラスコに入れ、溶媒 50ml を加えた後、超音波洗浄機によって 30 秒間超音波処理し、室温で 1 時間振とう抽出した。振とう後は静置し、上澄み液をろ紙 (No.2) を用い、ろ過した。なお、抽出溶媒は脱イオン水 (対照区)、pH 調整水 (*後述)、また幅広い物質群を広く抽出するために 90% メタノールおよび 80% エタノールを用いた。メタノールおよびエタノール抽出液は、ろ過後の溶液を減圧乾涸した後、乾涸前と同量の脱イオン水を加えることにより作製した。

内径 65mm のシャーレにろ紙 (No.2) を一枚敷き、抽出液 2.4ml を加え、レタス (Great Lakes 366) の種子 10 粒を置床した。水分の蒸発を防ぐためパラフィルムで密封し、25℃ 暗黒条件下で 3 日間インキュベートした後、幼根長および下胚軸長を測定した。対照区に対する伸長比により、活性を判定した。なお、種子数、シャーレ内径および抽出液添加量は藤井ら (1990) に基づき決定した。

* pH 調整水

伊豆田ら (1990) の擬似人工雨水作製法を参考にした。硫酸：硝酸 = 1 : 1 溶液 (モル比) 混合液を脱イオン水で希釈、または脱イオン水に KOH を滴下して、pH を 4.0, 5.6, 7.0, 9.0 に調製した。なお、多摩川永田地区における土壌 pH (H₂O) は 2002 年の調査の結果、ニセアカシア林内で 7.1, 丸石河原で 9.1 であった。

3. 多摩川河川敷の植生構成種の他感作用

他感作用はその選択性が特徴的な現象といえ、特定の現象のみを現わす性質のものではない。すなわち、「この植物は他感作用が強い」という表現は誤りであり、他感作用物質を放出する植物と、影響を受ける植物との関係が明らかにされたとき初めて、植物間相互作用としての他感作用活性が評価されたことになる。

他感作用が疑われる植物を検索することは、簡便かつ迅速に実施でき、かつ高感受性の検定植物を用いる生物検定法が汎用されている。これまで、様々な室内で実施できる生物検定法が考案されてきたが、藤井は 1994 年にサンドイッチ法を考案した。サンドイッチ法は、葉から放出される化学物質の影響を、物理的要因を排除し検定可能な方法である。つまり、植物の葉を寒天培地を用いサンドイッチ状に包埋し、培地上に置床した検定植物の生育を計測することで他感作用活性を検定する方法で、植物体からの抽出成分による影響を直接、かつ高感度で検出することができる。

現在、わが国では多くの外来植物が侵入、定着しており、その現象の発生メカニズムに化学物質を介した他感作用の関与が考えられた。外来植物の中にはセイタカアワダチソウ（小林ら、1979）など、強い他感作用を有する可能性が報告された種がある。河川敷は、外来植物の影響を特に受けやすいと考えられ、セイタカアワダチソウやオオブタクサに加え、シナダレスズメガヤなど緑化に用いられるイネ科植物も蔓延している。一方で、カラノギクなど河原に固有な植物の衰退が危ぶまれている。このような植生の変化に、他感作用が関与している可能性が推察された。そこで、他感作用が河川敷植生に与える影響を検討するため、河川敷に自生する植物の他感作用活性をサンドイッチ法により検索した。

3. 1 全体の傾向

2001 年に採取された試料

サンドイッチ法により検定された多摩川中流域に自生する河川敷植生構成植物の葉部における他感作用活性を Table 3-1 に示す。また、10mg 包埋区における幼根と胚軸の伸長程度（対照区比）の分布を Fig. 3-1 に、50mg 包埋区における幼根と胚軸の伸長程度（対照区比）の分布を Fig.3-2 に示す。

レタスの幼根伸長は、10mg 包埋区では幼根伸長が 66%、胚軸伸長は 106%、また 50mg 包埋区ではそれぞれ 36%、89%となり（63 サンプル平均値、対照区比）、10mg 包埋区に比べ 50mg 包埋区の方が幼根長で 30%、胚軸長で 20%ほど抑制率が高かった。Fig. 3-1 から明らかなように、10mg 包埋区における伸長程度は、幼根長で対照区比 20%から 100%程度まで、胚軸長では 40%から 140%程度まで広く分布していた。ほとんどの植物が、幼根長の対照区比で 40~100%、胚軸長の対照区比で 80~130%程度の範囲にあった。これらの範囲にあった植物は、幼根伸長が阻害されていても、胚軸長は対照区よりも高い結果となっ

たものが多かった。

Fig.3-2 から明らかなように，50mg 包埋区においても同様の傾向が認められ，50mg 包埋区における伸長程度は，幼根長で対照区比にして 10～80%程度まで，胚軸長では 30～130%程度まで広く分布していた。全体的に胚軸よりも幼根に対する抑制効果が強かった。その理由として，アレロパシー物質の種類による作用特異性の差異の可能性，および発芽後，最初に出現する幼根の伸長抑制により，種子中の貯蔵養分が胚軸へより多く供給された可能性などが考えられ，同一方法による既報の結果（猪谷ら，1998；猪谷ら，1999）と同じ傾向であった。このように，胚軸は様々な要因から影響を受けるため，幼根の方が葉からの抽出物質の作用を直接的に反映していると考えられた。よって，ここでは主に幼根に対する伸長阻害率によってアレロパシー活性を判定した。

10mg 包埋区と 50mg 包埋区における幼根長の対照区比の関係を Fig. 3-3 に示す。10mg 包埋区と 50mg 包埋区間における幼根長の伸長率には， $r=0.736$ ($p<0.01$ ，Spearman の順位相関分析) の非常に有意な正の相関が認められた。一方，50mg 包埋区の対照区比の 10mg 包埋区の対照区比に対する回帰係数は，0.473 となり，0.2 (=1/5) と大きく異なることから，乾燥葉の包埋量が 5 倍になってもレタス幼根伸長の抑制効果は，必ずしも 5 倍にはならないことが示された。また，10mg で活性が低かった植物種でも，包埋量を 50mg に増やすことで，活性に変化がみられたことから，異なる包埋量の組み合わせによる試験は，アレロパシー活性の比較に有効的であると結論された。

Fig.3-3 に示すように，10mg および 50mg 包埋区における幼根伸長阻害率は，供試植物を 2 つのグループに分類した。50mg 包埋区の阻害率が 65%以下の植物は，10mg 包埋区の阻害率は 50%以下であった。これらのことから 50mg 包埋区で 65%以上の阻害率を示した植物は「高い活性を有する植物」，65%以下の阻害率を示した植物は「活性の低い植物」と分類された。

2002 年に採取された試料

サンドイッチ法による葉部の他感作用検定の結果を Table 3-2 および Fig. 3-4，3-5 および 3-6 に示す。サンドイッチ法において，レタスの幼根の伸長には，乾燥葉から浸出した他感物質の作用が直接反映されるが，下胚軸の伸長には他感物質以外にも様々な要因が複合的に作用し，浸出の影響を反映しにくい（猪谷ら，1998），おもに幼根の 50mg 包埋区における伸長により活性を判断した。

幼根の伸長は，10mg 処理区において 18～108%，50mg 処理区においては 4～82%（それぞれ対照区比）の範囲に分布していた。もっとも強い活性を示したのは ケキツネノボタン（4 月採取）で，10mg 包埋区において 39%，50mg 包埋区において 4%であった。これは既報と比較しても極めて強い活性である。

ついで，ニセアカシア（4 月採取），アレチウリ（4 月採取），オニウシノケグサ（4 月採取）が強い活性を示した。対照的に活性が低かったのはカワラヨモギ（8 月採取），ククイ

モ(10月採取,リター),などであった。ほとんどの植物において,採取時期によって伸長率が異なった。他感作用活性の季節変動に関しては7で詳述する。

3.2 分類群における特徴

2001年の採取試料

植物に由来する阻害物質は,特定の生物にのみ存在する二次代謝物質であることが多く,系統的に近い種間では同じ傾向の阻害活性を示すことが予想された。そこで,2001年に採取された15科56種の活性を,キク科,イネ科,マメ科およびその他の科で比較した(Table 3-3 および Fig. 3-7)。

供試した植物の種数は科ごとで異なったが,同科に属する植物であっても,その阻害活性はかなりの変動を示し,各科間において有意な差は認められなかった($p < 0.05$, Tukeyの多重比較検定)。

キク科は,双子葉植物の進化の頂点にある科と言われ,約1,000属20,000種を含む最大の科である。特異な二次代謝産物を含む種があることが知られており,他感作用候補植物の報告されている植物の多い科である(藤井ら,1990)。

キク科の植物のうち,10mgおよび50mgともに強いアレロパシー活性を示したのは,セイタカアワダチソウで,それぞれ幼根長に対して78%および74%と一貫し高い阻害を示した。胚軸に対する阻害率も67%および66%と一貫して高かった。セイタカアワダチソウは,北アメリカ原産の多年草で,戦後,急速に日本全国に分布を広げ,河川敷にも侵入している代表的な帰化植物である。セイタカアワダチソウの他感作用候補物質として,地下部から *cis*-dehydromatricaria ester (*cis*-DME) が,単離,同定されている(Kobayashi *et al.*, 1980)。セイタカアワダチソウ由来の *cis*-DME は,イネに加え,遷移の前段階の優占種であるススキおよびブタクサの生育を阻害したほか,セイタカアワダチソウ自身の種子に対しても強い自家中毒的作用が認められ,帰化植物としての急速な分布の拡大に他感作用が深く関与していることが指摘されている(Numata *et al.*, 1973; Numata *et al.*, 1974)。

中村・根本(1996)は,成熟期にあるセイタカアワダチソウの生葉に26ppm,枯死葉に100ppmの *cis*-DME が存在するが,水によって溶脱されにくいことから, *cis*-DME は枯死過程で葉に蓄積され,リターを作用経路として他感作用を発現している可能性を示唆している。しかし,本研究で供試したセイタカアワダチソウは,生長期のものであったにも関わらず高い阻害作用を示したことから,本種は,生長期の時点で *cis*-DME を保持している可能性が示された。また,Sawabeら(1999)は,セイタカアワダチソウの根部からテルペン類を単離し,そのうちの1つがレタスに阻害作用を示したことを報告しており,本研究の結果から,地上部においても他感作用候補物質としてテルペン類が存在している可能性が推察された。

キク科のうち，50mg 包埋区において最も幼根伸長を阻害したのは，オオブタクサであった．幼根伸長阻害率は，10mg においてそれほど高くなかったものの（33%），50mg では87%の阻害率を示し，2001 年採取の全植物のうち，ネズミムギのリターを除くと，最も高い活性であった．オオブタクサは，北アメリカ原産の大型一年草で，カナダやアメリカでは主要な農耕地雑草である．第二次世界大戦後，日本国内において急速に分布を広げ河川敷などで大群落を形成した．オオブタクサは土壌シードバンクを形成するため，侵入後も長期間にわたって影響を及ぼす（鷺谷，1999）．

オオブタクサの他感作用に関する報告は少ないが，本種の水抽出液はダイコンやソルガム の発芽および幼植物生長を阻害するという報告がある（Rice, 1984）．他感作用の候補物質は同定されていないが，開花前の生葉からモノテルペンおよびセスキテルペン類が検出されている（作田，1987）．しかし，それらの生育阻害作用については検定されていない．本研究においてオオブタクサが非常に高い活性を示したことは，その生態的特徴に加え，本種の蔓延に他感作用が関与している可能性を示唆していると考えられ，今後は物質の同定を含めた詳細な研究が必要であろう．

セイトカアワダチソウやオオブタクサなど大群落を形成する帰化植物の他に，キク科で強い活性を示したのは，アキノノゲシであった．アキノノゲシは50mg 包埋区における幼根伸長阻害率でセイトカアワダチソウを上回る81%を示した．アキノノゲシは在来の1~2年草であり，他感作用はあまり注目されていない．しかし，トウダイグサ属の植物のように茎を切ると白い乳液が滲出してくるほか，同属の *Lactuca tatarica* から強力な生育阻害物質であるセスキテルペンラクトンが同定されている（Kisiel, 1997）．本研究の結果もアキノノゲシが強い他感作用活性を有することを支持している．

ヨモギは，他感作用を有することが知られており（藤井，1990），阻害物質としてカフェー酸が同定されている（Rice, 1984）．本研究においても50mg で幼根伸長に対して57%の阻害であり，あまり高い活性ではなかった．コセンダングサは，熱帯アメリカ原産の一年性耕地雑草で，世界中に分布している．河川敷においても裸地に多くみられる．コセンダングサの新鮮葉からは，*p*-クマリン酸が単離されているのに加え（Sashida, *et al.*, 1991），Campbell ら（1982）は，コセンダングサの葉から得られたフェニルヘプタトリン が，生育阻害作用を持つことを報告している．しかし，2001 年に採取されたコセンダングサは高い活性を示さなかった（50mg で幼根伸長を54%阻害）．ブタクサは，北アメリカ原産のバイオニア的な一年生植物であるが，その優占に他感作用が関与している可能性が指摘されている（Rice, 1984）．本研究において2001年に採取されたブタクサは，50mg で幼根伸長に対する阻害率は53%と高い活性を示さなかった．このような，他感作用の存在が示唆されているキク科植物が，本研究において高い活性を示さなかった原因として，季節変動による影響，もしくは2001年夏期が少雨であり，異常な高温であった気象条件が影響している可能性も推察された．

イネ科は世界に約 700 属 10,000 種ある大きな科で、穀物や牧草として人間との関わりの深い植物である。イネ科において 10mg および 50mg とともに強いアレロパシー活性を示した植物は、10 月に採取し花期であったセイバンモロコシで、幼根伸長をそれぞれ 82% および 87% の阻害率を示した。胚軸長に対する抑制効果も高く、10mg 包埋区で 63%、50mg 包埋区で 69% と、全サンプル中で胚軸伸長は最も阻害された。

一方、7 月に採取したセイバンモロコシの幼根伸長率は 10mg 包埋区で 86%、50mg 包埋区で 53% と抑制効果は弱く、胚軸伸長は、120 ~ 140% と大きく促進された。セイバンモロコシは、地中海沿岸原産の多年草で、世界中に分布を広げている。日本では戦後、急速に分布を広げている帰化雑草であり、他感作用に関する報告も多い。セイバンモロコシの残渣は、アオゲイトウやスズメノチャヒキ等に加え、セイバンモロコシ自身に対しても阻害効果を示し、その原因物質として主に根茎から滲出されるクロロゲン酸、*p*-クマル酸、および *p*-ヒドロキシベンズアルデヒドが特定されている。また、新鮮な残渣よりも、腐食が進行した残渣の方が阻害作用は強い (Rice, 1984)。Menges (1987) は、セイバンモロコシの他感作用が、とくに地下部において強力であることを報告している。Martin・Smith (1994) は、アルファルファとイタリアンライグラスに対するセイバンモロコシ茎葉部の阻害作用が、生長期に発現せず、成熟期に強く発現したことを報告している。

本研究の結果は、セイバンモロコシの他感作用活性が花期および枯死後で特に高いという既報の結果を支持するとともに、本種が世界的に分布を拡大した一因として、他感作用が関与している可能性を示唆している。

ススキは、50mg 包埋区において幼根伸長を 78% 阻害し高い活性を示した。ススキは大型多年草で、安定した植生を構成する在来種である。藤井ら (1990) は、開花前のススキの水抽出液がレタスの発芽を遅らせることを報告しているが、他感作用に関する報告は少ない。また、同属のオギも密生し、安定した植生を形成するが、50mg 包埋区において 67% の幼根伸長阻害率を示し、比較的高い活性といえた。これら、安定植生を形成する植物が高い活性を示したことは、安定植生の形成に他感作用が関与している可能性を示唆すると考えられ、今後の詳細な検証が求められる。

ネズミムギのリターは、50mg 包埋区のみでの検定を行ったが、幼根伸長および胚軸伸長に対し、2001 年採取の全サンプル中、最も高い阻害率を示した (それぞれ 90% および 68%)。しかし、生葉の活性は高くなかった (50mg 包埋区で幼根伸長を 54% 阻害)。ネズミムギと同じく侵入植物であるオニウシノケグサ およびシナダレスズメガヤも高い活性は認められなかった。これらの植物は、いずれも緑化や牧草として利用されたものが逸脱して日本中に野生化しているが、河川敷にも侵入し在来種を圧倒している (鷲谷, 2000)。牧草の他感作用に関する報告は多く、Smith・Martin (1994) は、ネズミムギとオニウシノケグサの成熟期の茎葉部から得た抽出液が阻害作用を有し、ネズミムギは自家中毒的作用を示すことを指摘している。また、Naqvi・Muller (1975) は、ネズミムギの葉を洗浄した液に加え、土壤浸出液および残渣とともに阻害作用があったことを報告している。本研究でネズミムギのリ

ターが高い活性を示したことは、これらの報告を支持するものであった。

オニウシノケグサの他感作用は、比較的 古くから 認知されており (Peters, 1968), 乳酸, コハク酸およびシキミ酸など 幾つかの有機酸が 阻害物質として 同定されている (Luu *et al.*, 1989). Luu ら (1982) は、オニウシノケグサの 茎葉部が 有する 他感作用の 季節変動について 検討し、春から 夏前までの 生長期に 阻害活性は 高く、夏期に 弱まるが、冬期から 春先にかけての 枯死体は 極めて 高い活性を示したことを 報告している。シナダレスズメガヤの 他感作用は、これまでに 報告されていない。しかし、ネズミムギおよびオニウシノケグサに関する 他感作用の 知見と 合わせ 類推すると、越年性の イネ科 牧草類は、生長期および 枯死後に 他感作用活性を 高め、分布拡大の 一因に 他感作用の 寄与が 推察された。また、2001 年に 採取された 試料は 活性が 低かったが、これらは いずれも 花期後であった。今後は 他感作用活性と 花周性の 関係を 明らかに するため、生長期の 活性を 検定し、比較、検討する 必要があろう。

チガヤは 在来の 多年草で、世界では 10 大強害雑草の 1 つに 数えられている。チガヤの 生葉および 根には 他感作用が 認められ、葉や 茎から スコポリン、スコポレチン、クロロゲン酸および イソクロロゲン酸が 単離、同定されている (Rice, 1984)。また、チガヤ葉部を 混和した 土壌は、ヒメムカシヨモギなど 雑草の 生育を 阻害したことから、圃場での 雑草管理に 有効的であることが 指摘されている (Tominaga・Watanabe, 1997)。しかし、本研究に 供試した 2001 年採取の チガヤは、ほとんど 抑制作用を示さなかった。その原因として 上述した 牧草類と同様に、花期後であったことが 考えられた。

Seteria 属の 2 種の 植物、すなわち エノコログサおよび ムラサキエノコロは、それぞれ 50mg 包埋区で 幼根伸長を 74% および 72% も 阻害し、いずれも 高い活性であった。*Seteria* 属は 他感作用活性が 存在することが 知られているが (Rice, 1984)、生育 阻害物質は 同定されていない。また、*Seteria* 属は ステロールが 比較的 多く 含まれていることが 報告されているが (高津戸ら, 2000)、アレロパシーに 関与していると考えられている ステロイドは 少ない (Rice, 1984)。つまり、ので、ノコログサおよび ムラサキエノコロの 他感作用は 別の物質に 由来している可能性が 推察された。

主要な 耕地雑草である メヒシバおよび オヒシバも 高い活性を示した。両種の 他感作用は よく 知られており、とくに メヒシバの 根からは クロロゲン酸、イソクロロゲン酸および スルホサリチル酸などが 分泌され、マツバシバの 生育が 阻害される (Rice, 1984)

ツルヨシは 匍匐性を 備え、河原で 密生する 植物で、永田地区でも タイプ 2 に 多く 出現する 植物である。本研究における 検定の 結果、ツルヨシは 高い活性を示さなかったことに加え、これまで 他感作用の 存在を示した 報告はない。これらのことから、ツルヨシの 優占には、他感作用よりも 他の 生態的特性が 関与していることが 考えられた。

マメ科は 世界に 約 600 属 13,000 種あり、有用植物も 多い。また、マメ科植物の 他感作用活性は、一般的に 高いことが 知られているが (藤井ら, 1990)、2001 年採取の 試料も、供試

数は少なかったものの、イネ科およびキク科よりも高い活性が明らかであった(Table 3-3).

マメ科で最も高い活性を示したのは、ニセアカシアで、レタスの幼根伸長は 10mg 包埋区で 60%、50mg 包埋区で 80%も阻害された。また、胚軸伸長は 50mg 包埋区で 33%阻害された。ニセアカシアは北アメリカ原産の木本植物で、世界的に緑化に用いられている。多摩川においては、水源地の荒廃に対する造林事業のため昭和初期に導入され、崩壊地の復旧に大きく貢献した(皆川・島谷, 2000)。その後、水源地より逸出し、永田地区を始め本来、河畔林がほとんど成立しない多摩川河川敷において急速に分布を拡大しつつある。また、本種の分布拡大は危急種であるカワラノギクが生育可能な立地を狭めている(倉本・井上, 1996)。

ニセアカシアの分布拡大には、生長速度の速さ、実生による更新に加え、水平根からの根萌芽による更新(玉泉ら, 1991)という優れた生態戦略が関わっていることが指摘されている。また、群落の種組成や階層構造の単純化をもたらすことも指摘されている(前河・中越, 1997)。諸岡ら(2000)は、ニセアカシアの分布拡大における一因としてアレロパシーの関与を指摘し、本種の根および葉において高い活性がみられたことを報告している。また、生長阻害物質として葉から揮発性の Leaf aldehyde が高濃度で検出され、根部から分泌される水溶性画分の物質が高い阻害作用を示したことも報告されている。Obatake・Suzuki (1985)は、ニセアカシアの若葉にカナバニンとエタノールアミンが含まれ、これがナミテントウムシに致死的であると報告している。本来、河畔林を構成するエノキ やクヌギに特異的な生育をする昆虫オオムラサキは、ニセアカシア林には生育しない(鷲谷・矢原, 1996)。その原因として、カナバニンがオオムラサキにとって有害である可能性も考えられている。カナバニンは、ナタマメの根 や葉、種子に含まれる水溶性の他感作用物質であり(藤井ら, 1994), ニセアカシアにおいても他感作用物質として作用している可能性が考えられた。多摩川河川敷の植生変化における一方の主演ともいえるニセアカシア群落の単純化と、それに及ぼす他感作用の影響は6において詳述する。

カラスノエンドウは、ニセアカシアと同程度の高い活性を示した。カラスノエンドウは、河川敷でも大きな群落を形成し、繁殖力が強い。カラスノエンドウが属する *Vicia* 属の植物は、ヘアリーベッチなど強い他感作用が報告されている種があり(藤井・渋谷, 1992), 一方で、ニセアカシアと阻害傾向が類似していることから、アミノ酸誘導体の物質が作用している可能性が考えられた。

クズは、これまで他感作用の存在が知られている(藤井ら, 1990)。本研究においても高い活性が認められた。阻害率および阻害の傾向は、やはりマメ科のニセアカシアおよびカラスノエンドウと近似しており、同系統の他感作用物質を有している可能性が推察された。

キク科、イネ科およびマメ科以外の植物で強い活性を示したのは、オオニシキソウであった。オオニシキソウは 10mg 包埋区および 50mg 包埋区において幼根伸長をそれぞれ 68% および 83%も抑制した。このレベルはセイバンモロコシに次ぐ高い抑制率であった。また、

胚軸伸長は、それぞれ 40%ほど抑制した。オオニシキソウと同じトウダイグサ科に属するコニシキソウは、10mg で強い抑制効果を示さなかったが(29%), 50mg では68%の阻害率を示した。コニシキソウの結果は、同法による猪谷ら(1998)の結果を上回る阻害率であった。オオニシキソウおよびコニシキソウは、北アメリカ原産の帰化植物で、日本中に分布している。トウダイグサ属の植物は、フェノール性の物質を多く含んでおり(Rice, 1984)、コニシキソウは、窒素固定菌あるいは硝化細菌の生育を阻害することが知られている(Rice, 1965)。しかし、コニシキソウの抽出液が *Striga* 属植物に示す阻害作用は、同属の他種に比べ強力ではなく(Ibrahim *et al.*, 1985)、また、オオニシキソウはコニシキソウにはないフェノール性物質の貯蔵器官を有することが報告されている(Elmore and Paul, 1983)。2001年に採取された試料の検定においても、オオニシキソウは高い抑制効果を示し、既報の知見を支持したとともに、両種が高い他感作用活性を示したことは、帰化植物としての分布拡大に、他感作用が関与している可能性を示唆するものと結論された。

アレチウリは、北アメリカ原産のウリ科の大型1年草で、河川敷や畑で大群落を形成し、問題となっている。本研究においてアレチウリは、10mg 包埋区で50%、50mg 包埋区で76%の幼根伸長阻害を示し、高い活性がみられた。アレチウリの他感作用に関する報告はないが、本研究で高い活性が認められたことは、アレチウリの蔓延の一因に他感作用の関与が示唆され、今後の検討が求められよう。多摩川中流域で分布を拡大するつる植物については3.4に詳述した。

アカバナ科のメマツヨイグサは、北アメリカ原産の二年生草本である。明治に帰化し、現在では全国的に分布を拡大している。メマツヨイグサの幼根伸長阻害率は10mg 包埋区で55%、50mg 包埋区で76%であり、高い活性を示した。Bieber・Hoveland(1968)は、メマツヨイグサの抽出液が強い阻害作用を有することを報告している。メマツヨイグサの阻害物質は同定されていないが、植物油の原材料として本種が用いられていることから、特殊な二次代謝物が他感作用物質として作用し、分布拡大の一因となっている可能性が考えられた。

ヤナギ科のイヌコリヤナギは、河川敷の中でもやや土壌が堆積した場所に優占する在来種である。イヌコリヤナギの他感作用に関する報告はないが、本研究において50mg 包埋区で幼根伸長を71%も阻害した。イヌコリヤナギと同属の *Salix pellita* は、ジャックパインの発芽を完全に阻害した報告がなされ(Brown, 1967)、本研究で得られた結果を考慮すると、イヌコリヤナギも強い他感作用物質が存在することが示唆された。

ヘラオオバコは、ヨーロッパ原産の帰化植物であり、世界中に帰化している。本研究の結果、50mg 包埋区で幼根伸長を70%も阻害し、高い活性であった。Newman・Miller(1977)は、ヘラオオバコの根部の滲出液が、生長阻害性を示し、しかも自家中毒的特性を示したことから、草地において本種が数年で後退する現象と関係があると報告している。

以上は2001年に採取された多摩川河川敷の植生構成種の中で、サンドイッチ法により高

い活性がみられた種についてまとめた。しかし、他感作用活性の傾向を決定する要因として、科による分類は明確とは結論されなかった。くわえて、科による分類以外に帰化植物と在来種との間に差があるかどうかを比較した (Table 3-4)。しかし、帰化植物と在来種との間には、明らかな差が認められなかった。つまり、実際の環境下で発現する他感作用は、極めて種特異的な発現形態を有すると考えられ、分類群によるキャラクターよりも種に特有な現象であることが裏付けられた。また、他感作用は植物の生存戦略として発達してきたと考えられている。そこで、以下は個々の植物について阻害の傾向とその性質をまとめた。

10mg および 50mg とともに幼根伸長と胚軸伸長を著しく阻害した種は、セイバンモロコシ (花期)、オオニシキソウ、セイトカアワダチソウの 3 種であった。これらは全て帰化植物であり、同時に耕地雑草である。セイバンモロコシとオオニシキソウは、C4 植物である (Downton, 1975 ; Raghavendra・Das, 1978)。ついで、10mg および 50mg において幼根伸長のみを強く阻害した種は、ニセアカシアおよびムラサキエノコロの 2 種であった。ニセアカシアは帰化植物であるが、ムラサキエノコロは在来の耕地雑草である。また、ムラサキエノコロの近縁種であるエノコログサは C4 植物である (Downton, 1975 ; Raghavendra・Das, 1978)。

つぎに、50mg においてのみ幼根伸長を阻害したものは、オオブタクサ、ヤブジラミ、アキノノゲシ、カラスノエンドウ、クズ、ススキ、アレチウリ、ヒメムカシヨモギ、メマツヨイグサ、メヒシバ、エノコログサ、イヌコリヤナギ、コニシキソウ、ヒメモロコシなどであった。これら多くの種は帰化植物であり耕地雑草でもある。ここで、アキノノゲシは在来種の耕地雑草である。これらの種のうち、C4 植物は、ススキ、エノコログサ、コニシキソウ、セイバンモロコシである。一方で、カワラヨモギ、カワラサイコ、ヒロハノカワラサイコなど、河原特有の植物の中で高い活性を示した種は認められなかった。

このようなまとめから、2001 年に採取された植物のうち C4 植物は、シナダレスズメガヤを除き高い活性を示すといえた。C4 植物には、ヒコ科、トウダイグサ科およびイネ科が多く、外来雑草として耕地など肥沃な環境で在来種を圧倒することが知られている (Maillet・Garcia, 1999)。また、C4 植物は高い生長率とバイオマス生産を特徴とし、Grime の C-R-S モデル (Grime, 1977) の定義に従えば、競争種性格が強いグループといえる。C4 植物のほかに高い活性を示した植物は、大きな群落を形成し、競争種性格が強い植物が多く該当し、帰化植物ではオオブタクサ、セイトカアワダチソウ、ニセアカシア、アレチウリ、在来種ではクズ、ススキ、イヌコリヤナギなど安定した植生を形成する植物であった。

高い活性のみられなかった帰化植物の中に、オニウシノケグサやコセンダングサ、ネズミムギなど、他感作用が知られ、かつ河川敷内に広く分布する種も多く認められた。これらは、競争種性格の性質に加え、河原特有のストレスにも耐性を備えた種であると結論された。

帰化植物の多くは土壌シードバンクを形成し、攪乱依存種性格の性質を備えることから (鷲谷・矢原, 1996)、帰化植物が競争種性格の性質をベースに、ストレス耐性種もしくは攪乱依存

種という 2 つ、ないしは 3 つの性質をバランスよく備えることで、河川敷へ侵入し定着に成功していると考えられた。この仮定は、帰化植物だけではなく、在来種ではあっても河原に固有ではない山野の植物にも適用することが出来る。

ここで示した種が高い他感作用活性を示す、あるいはその潜在性が示唆されことは、帰化植物の河川敷への侵入、および河川敷内の安定植生域の拡大と他感作用が決して無関係とでない可能性を示唆している。アレロパシーは、植物体の残渣が土壌表層に存在する場合にとくに大きな影響力を発揮する (Guenzi *et al.*, 1967; Tukey, 1969; Smith, 1989)。つまり、本稿でピックアップされた植物が安定した植生を形成すれば、アレロパシーの影響はさらに強まることが予想された。また、河原に特有の植物は、乾燥、高温、貧栄養という特殊な環境ストレスに適応した耐性種的な性質をベースとしており、競争種の性質は弱いと考えられる。これらストレス耐性種的な性質の強い種は、生存戦略として他感作用を進化させる必要性が低かった可能性が推察された。

2002 年採取試料

科ごとの他感作用検定結果 (対照区比) を Table 3-5 に示す。また、50mg 包埋区における幼根伸長率の科毎の比較を Fig. 3-8 に示す。2002 年に採取された全 58 種のうち、3 種以上得られたのは 4 科であった。各科とも供試した種数は異なるが、キンポウゲ科およびマメ科の植物は、キク科およびイネ科より高い阻害を示す傾向が認められた。

キク科は、イネ科と共に比較的新しい時代になってから適応放散したと考えられている。現在、わが国において生育が認められている外来植物の中でキク科植物は 20% を占め、もっとも多い (鷲谷, 1996)。キク科の植物は攻撃性 (aggressiveness) をもつ種が多く (Curtis and Cottam, 1950) 他感作用が報告されている種も多い。

2002 年に採取されたキク科植物の中で、阻害活性が高かった種はブタクサ、ヨモギ、オオブタクサ、コセンダングサ、ハルジオン、ヒメジョオンであった。ブタクサ属およびヨモギは他の多くのキク科と異なり風媒花であるが、一般に風媒花は送粉に風を受ける必要があるため、競争力が強く優占種となることが多い (鷲谷, 1996)。これらの 3 種がもっとも他感作用活性が高かったことは、生存戦略と他感作用の関係を示す結果とも考えられ興味深いと言えよう。ハルジオンやヒメジョオンなど *Erigeron* 属の植物は、ポリアセチレン化合物が他感物質として単離・同定されている (沼田, 1977)。

他感作用の報告が多いセイタカアワダチソウは 2002 年の個体において 28~54% と、弱い生育阻害を示した。セイタカアワダチソウの他感物質として *cis*-DME が同定されているが、Kobayashi *et al.* (1980) によると、セイタカアワダチソウの *cis*-DME は地下部に多く含まれ、地上部の含有量は少ないと報告されている。また、*cis*-DME は水に難溶性であるため、サンドイッチ法の結果に反映されなかった可能性もある。

キク科の中で阻害が弱かった種は、ハハコグサ、ノコンギク、カワラヨモギであった。これらはすべて、多摩川における常在度が低い種である。

イネ科は、キク科に次いで外来植物の比率が大きく、外来植物の多くが牧草や法面緑化のために導入された(鷺谷, 2002)。2002年に採取されたイネ科植物のなかで最も強い生育阻害を示した種はカタバエノコロであった。ネズミムギ, オニウシノケグサ, カモジグサ, イチゴツナギ, チガヤ, メリケンカルカヤも強い活性を示した。カタバエノコロは、永田地区の丸石河原において大群落を形成しており、繁茂の原因の一つに他感作用の関与が推察された。

ケキツネノボタン, センニンソウ, タガラシなど、キンポウゲ科の植物は共通して強い他感作用活性を示した。キンポウゲ科のオキナグサとセンニンソウにはプロトアネモニンを多量に含むことが知られており、この物質がアレロ・ケミカルであるとした報告がある(藤井, 1991)。同じキンポウゲ科のセリバヒエンソウの阻害は50mg包埋区で59%であったが、10mg包埋区では52%であり、他のキンポウゲ科ほどではないが活性が強く、プロトアネモニンと類似した物質を保持している可能性が考えられた。プロトアネモニンは窒素固定菌の活性を抑制するため、マメ科植物の生長を抑制することが知られている(藤井, 2000)。本研究の結果、キンポウゲ科の植物がレタスに対しても強い阻害効果を示したことから、窒素固定に対する阻害の他に、直接的な伸長抑制効果も保持している可能性が示された。

マメ科は、2002年に採取された4種とも、すべて強い他感作用活性を示した。なかでも、ツルマメは92%と極めて強い生育阻害を示した。ツルマメは栽培種であるダイズの原種と考えられている(林ら, 1983)。佐藤ら(1989)は、ダイズの葉部抽出液がレタスの幼根伸長を阻害したことを報告している。2002年採取のニセアカシアは、50mg包埋区で75%と、既報(諸岡ら, 2000)と同程度の阻害を示した。ニセアカシアの他感物質の一つとして、ピロガロール構造を持つカテコール化合物 Robinetin が同定された(Habib *et al.*, 未発表)。クズも既報(藤井ら, 1990; 猪谷ら, 1998)と同様に強い活性を示した。クズの他感物質としてイソフラボノイド系の物質が疑われており、本報では、つる植物として後述する(3.3)。

ブドウ科のヤブガラシおよびノブドウも共に強い活性を示した。ヤブガラシは群落内で繁茂して藪を枯らすことが知られているが、被陰による物理的な生育抑制のほかに他感作用が関与している可能性も示された。

アカバナ科のメマツヨイグサは、70%程度のやや強い生育阻害を示した。メマツヨイグサの他感作用に関する報告では、Bieber and Hoveland (1968)において、クラウンベッチや他の作物の種子発芽を抑制したという報告がある。

クワ科のカナムグラは平均70%の生育阻害を示し、とくにリターでは77%と高い阻害活性であった。クワ科植物の他感作用は、栽培種のクワについて報告があり(鈴木, 1997)、落葉により他感物質を放出し、下草の発生を抑制するメカニズムが示唆されている。カナムグラもリターの活性が最も強く、リターによる他感物質の放出はクワ科に共通する現象であると考えられた。

タデ科のイタドリは、在来の多年生植物であるが、IUCN（国際自然保護連合）の発表した「世界の侵略的外来種ワースト 100」の一つに挙げられており、イギリスにおいて最も侵入性が高い外来植物として駆除の対象になっている（鷲谷，1998）。タデ科植物の多くが他感物質としてシュウ酸を保持することが報告されており（猪谷ら，1998），本種も他感物質の同定が必要であろう。

ヒコ科のイノコズチは、10mg 包埋区で 46%，50mg 包埋区で 71%と比較的高い生育阻害を示した。ヒコ科の他感作用は、近種のヒナタノイノコズチがサンドイッチ法 10mg 包埋区で 48%と近い阻害を示した報告がある（猪谷ら，1998）。

ヒルガオ科のヒルガオは 50mg 包埋区で 63%の生育阻害を示した。本種は外来植物のセイヨウヒルガオやコヒルガオと共に、農地における雑草として問題になっている（伏見，2001）。ネナシカズラは 32%と、ほとんど阻害活性は認められなかった。ネナシカズラは寄生植物で、アブシジン酸を保持していることが知られている。これは宿主植物からの養分摂取が低下したとき、開花結実を促すため分泌すると考えられており（近内，1988），他感物質ではないと結論された。また、ネナシカズラは茎部を供試したため、保持濃度が低かったことも低い活性の一因と考えられた。

ケシ科のクサノオウは、71%と強い生育阻害を示した。ケシ科は、麻薬の原料となるケシを始め、薬用植物として利用されている種が多く、他感作用活性についても詳細な研究が必要であろう。

ガガイモ科のガガイモは、77%と強い生育阻害を示した。本種はつる性の多年草で、地下茎による栄養繁殖もおこなうため、農地における雑草として問題になっている（清水，2001）。2002 年採取の試料から得られた結果は、ガガイモの繁茂に他感作用が関与する可能性を示唆した。ガガイモは他感作用に関する報告がないが、根部的エタノール抽出液の成分として、ステロイドホルモン生成経路における中間体であるプレグネロン配糖体が同定されている（Warashina and Noro, 1998）。

ツツラフジ科のアオツツラフジは 67%とやや強い阻害活性を示した。本種はニセアカシア林においてニセアカシアと共優占することが報告されており（前河・中越，1997），ニセアカシア林の植生上重要な種である。

外来植物（23 種 66 サンプル）の他感作用活性についてまとめると、幼根伸長は 10mg 処理区において 3～82%，50mg 処理区において 18～88%（それぞれ対照区比の生育阻害）の範囲に分布していた（Table 3-6 および Fig. 3-9, 3-10 および 3-11）。全体として外来植物のみが高い活性を示すとは結論されなかったが、アレチウリやニセアカシア，オニウシノケグサなど、永田地区における優占種のなかに高い活性を示した種が多かった。

2001 年と 2002 年の比較

2001 年および 2002 年に同じ多摩川永田地区で採取された河川敷植生構成種のなかで、両年とも採取された 22 種について他感作用活性を比較した。比較は、おもに 6 月および 8 月

に採取された植物の結果を用いた。

イネ科では、2002年のススキおよびオギの活性が前年と比べ低かった。この2種は、花期前の8月に活性が高まったが、それ以外の時期は活性が弱かった。2001年はススキおよびオギともに花期前の植物を供試したため、花期前の7月でもっとも強く、花期に近くなるにつれ活性が弱まり、花期後さらに低下した変化が推測された。

2001年に採取された試料で、ほとんど抑制作用を示さなかったチガヤは、2002年の6月に採取された個体で活性が弱く、両年で共通した結果であった。しかし、2002年に採取された他シーズンの個体は65%程度とやや強い生育阻害を示した。このことから、2001年に採取されたチガヤで、他感作用活性が低かったことは、花期後に採取されたことが起因している可能性が推察され、採取年の変化には季節変動が影響している点を留意する必要がある。

ネズミムギ（花期）は、花期後であった2001年より2002年で高い活性を示した。以上の結果から推察すると、イネ科植物は花期前に活性がもっとも高まり、次第に弱くなるメカニズムが推察された。

キク科は、2002年に採取されたオオアレチノギク、オオブタクサ、セイタカアワダチソウ、ヒメジョオンで2001年より弱い活性がみられた。この原因として、2001年の7月は平年に比べ降水量が極端に少なく、水ストレスが作用した結果、他感物質の産生量が高まった、もしくは、降雨によるリーチングが起こりにくくなった結果、2001年の試料で他感物質の体内保持量が多くなった可能性も推察された。以上の比較は、同じ種であっても、気温や降水量などの条件によって活性の強さが変化する可能性を示唆している。

3.3 つる植物の他感作用活性

つる植物は、特徴的な生活戦略を持つ植物群の一つである。植物は光、水、栄養塩などの資源をめぐる競争のため、様々な戦略を持っており、そのためのコスト配分は戦略によって異なる。つる植物は、体の支持を他植物に依存することにより、支持組織へのコスト配分（とくにC）を抑えながら光獲得のために茎の伸長速度を大きくする点が特徴的である（Avalos and Mulkey, 1999）。つる植物は道管の直径を太くし、深く根を張り、水分獲得に有利であるが（Putz, 1984）、栄養獲得に関して、とくにN獲得能力は弱く、N条件がよいところで繁茂する（Kazda and Salzer, 2000）。

つる植物のいくつかは強害雑草として問題になるものも多い。農地においてはヒルガオ、アレチウリ、マルバルコウ、ガガイモなどが問題になっている（清水, 2001ab）。多摩川においてもアレチウリ、クズ、カナムグラ、ヤブガラシなどの繁茂がみられる。河川敷は本来貧栄養な環境であったが、近年は高Nになる傾向があり（4参照）、つる植物の繁茂に適した環境であることが推察された。また、つる植物は栄養生長の段階が花の形成によって中断されることなく、全生育期間を通じて葉面積が増大し続ける（Jensen, 1932）。このこと

は、他感物質の産生が中断されないことにくわえ、常に他感物質の滲出元が増加することを意味する。そこで、とくに多摩川河川敷で採取されたつる植物の分析から、その繁茂に、他感作用が寄与している可能性を検討した。

永田地区に生育するつる植物の他感作用検定結果を Table 3-7 および Fig. 3-12, 3-13 および 3-14 に示す。幼根の伸長は対照区比で 10mg 包埋区において 38-97%、50mg 包埋区において 14-68%の範囲に分布していた。とくに活性が強かったのは、センニンソウおよびツルマメであった。アレチウリ、ガガイモ、ヤブガラシ、クズ、カナムグラ、ヤブマメも強い活性を示した。ヘクソカズラ、ネナシカズラは強い活性を示さなかった。

以上の結果から、数種のつる植物は高い活性を示し、他感作用の存在が示唆されたが、非つる植物との差は顕著ではなかった。その理由として、つる植物は総葉面積が大きく、S/R 比が高いこと、また、しばしば群落内において被度が 100%に近くなることから、単位面積あたりの他感物質の放出量がそれほど多くなくても、1 個体あたり、もしくは群落での総放出量が多くなり、結果として十分に他感作用の効果が発揮できるためであると推察された。この点について、8.2 において改めて考察する。

4. 河川敷土壌の化学性および出水が及ぼす影響

河川敷植生構成種の分布は、河川特有の環境要因の影響を強く受けることが知られている。すなわち、河川敷では水面からの高さ、およびそれに相関のある諸要因（冠水頻度、冠水期間、土壌水分、土性、攪乱の受けやすさ）が大きく影響する（倉本，1984；石川，1988；石川，1991；倉本ら，1993；李ら，1999；萱場，2000）。このような個々の環境要因の総合的指標として、微地形を捉える検討がなされている（加藤ら，1993；倉本・井上，1996）。

植生-土壌系の保有する栄養塩類は、遷移の進行にともない、地表近くに集積される（斎藤，1977）。安定した植生をもつ生態系では、物質の循環も安定しているが、河原のように無機養分をほとんど保持しない土壌は、雨水および河川水からの供給が大きな意義をもつ。河川敷土壌は、一般に貧栄養であり、近年では富栄養化していると言われているが（奥田，1978）、実際の調査例は極めて少ない。

河川敷の土壌における化学性に関しては、坂上・星野（2000）が、土性と土壌水分に加えて pH および可給態 P を分析し、多摩川永田地区の土壌分布を調査している。陣野・梅野（1995）は、本明川において土壌の粒径組成、pH、EC を、Green ら（1994）は、アリゾナ州の河川敷においてそれらに加えて Eh、可給態 P および Fe を考慮することで、土壌と植生分布の関係について検討している。しかし、土壌化学性（とくに肥沃度）と微地形の関係は調査されていない。河川敷生態系にとって最も重要な要素である出水が土壌に及ぼす影響については、李ら（1999）が土壌堆積に関し、戸田ら（1999）が P および有機物の輸送について検討している。

このような背景から、近年著しい河川敷植生の変化、その化学物質を通じた現象解明の一環として、河川敷土壌の化学性（とくに肥沃度）を明らかにすることは重要となる。つまり、植物の化学物質を介した相互作用であるアレロパシーの発現には、その作用の場としての環境の化学的条件が甚大に影響すると考えられた。そこで、多摩川の代表的な河川敷土壌の分析を行い、他感作用物質が作用・発現する際に、土壌の化学的条件がどのように影響するのか評価を試みた。くわえて、元来の特殊な河川敷植生を生成したと考えられている出水が、土壌化学性に及ぼす影響を検討し、河川敷植生の遷移に化学的環境およびその攪乱がどのように作用するのか、物質循環の一面から明らかにすることを目的とした。

4.1 土壌物理性と化学性

採取した河川敷土壌の土壌型、土性および土色を Table 4-1 に示す。永田地区は、長年に渡り生態系が維持されてきたことから、依然として都市河川近傍の本来の特徴を備えており、重要なフィールドとして注目されている環境である。

植被のまばらな低水敷である T-1 は、堆積が薄く、粒径の大きい未熟土であった。8月の小規模な洪水により植物体は流出することはなかったが完全な Sand となり、9月の大規模

な洪水により表層土は完全に流出し、C層が露出した。ツルヨシが比較的密に生育する T-2 は、T-1 よりも堆積が進み、斜面状になっている立地で、粒径も T-1 より細粒な未熟土であった。8月の洪水によりシルトが堆積し、9月の洪水によりさらに砂が堆積したことが土性の変化から推察される。洪水による植物体の流出はほとんどみられなかった。複断面化した高水敷である T-3 は、ニセアカシアが優占する林で、その土壌は灰色低地土であった。堆積厚も大きく、また土壌の成熟化が徐々に進行していることが、粒径組成、および土色から推察された。8月の洪水では、短時間冠水したことが粒径組成の変化から推察され、9月の洪水では明らかに冠水し、堆積厚がおよそ 60cm 以上も増加していた。現地での観察、土性および土色より、一般的に T-1 < T-2 < T-3 の順番に成熟化が進んでいることが推察され、それは冠水の影響の受けやすさに起因することが示唆された。

是政橋付近は、人工堤防の中に河川敷が広がる典型的な都市河川中流域の環境であるといえる。比較的水面から遠く、植被の疎らな丸石河原である K-1 は、カワラサイコが自生する。土壌は未熟土で、細粒な土性を示した。水際で、ギシギシ属などが生育する K-2 は、玉石が多く、砂質な土性を示した未熟土であった。是政橋の工事に伴い、近年造成されたと思われる堤防法面である K-3 は、イネ科植物をはじめとする植生がみられたが、その土壌型、土色から客土したものであることが示唆された。オギが密生する高水敷である K-4 は、壤土の灰色低地土であった。

是政橋より上流よりの関戸橋付近もまた、典型的な都市河川中流域の環境であるといえる。グラウンド近傍の高水敷にあり、カワラサイコおよびイネ科植物が生育する S-1 は、壤土の灰色低地土であった。石積みの堤防で、カワラサイコおよびイネ科植物などが生育する S-2 は、褐色低地土で、他の土壌に比べて成熟した土壌であることが推察された。関戸橋橋梁横の緑地の近傍にある裸地である S-3 は、カワラサイコが主に生育していたが、灰色低地土で、土色からも他の土壌に比べて成熟した土壌であることが推察された。

全体として、植生が密な立地や洪水による影響を受けにくい高水敷および堤防法面では、土壌の成熟化が進行していることが土壌型、土性および土色より推察された。

多摩川中流域の河川敷より採取した土壌の化学性を Table 4-2 に示す。pH は、永田地区の 3 地点で 8 を超え、とくに T-1 では 9 に近い強アルカリ性を示した。洪水による冠水後も、8 程度のアルカリ性を示した。乾燥した丸石河原の K-1、水際の K-2、高水敷の S-1 および S-3 ではほとんど中性を示したが、堤防法面 (K-3 と S-2) やオギ密生する K-4 では、弱酸性を示した。このような pH の結果から、多摩川の水源地周辺は石灰岩質である可能性が推察され、上流に近く、支流の流入もない永田地区はバック・グラウンドの影響を反映し、強いアルカリ性を示したと考えられた。支流や下水などの流入により、バック・グラウンドの影響が弱まっていると考えられる是政および関戸では、永田よりも低い pH を示した。

通常、降水量の多いわが国の土壌は、塩基は洗脱され、pH7 より低い値を示すことがほとんどである。土壌 pH は、一般的に塩基飽和度 (交換性陽イオン / 陽イオン交換容量) と対応しているが、各地点ともに腐食質は少なく、粘土質でもないことから、陽イオン交換容

量は低いことが推察された。よって、土壌 pH は、各地点の塩基含有量を直接的に反映すると考えられた。とくに、永田地区の土壌は高 pH を示したため、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 K^+ 、 Na^+ が高濃度で存在する可能性が示唆された。

酸化還元電位は、全地点において 400~600mV の範囲内にあり、弱酸化の状態であることを示した。洪水後、たん水状態にあった T-2 では若干還元的であったことが示された(200~300mV)。しかし、2価 Fe が出現するほどの還元状態ではないと考えられ、酸化還元電位に関して特徴的な差異はみられなかった。

電気伝導度(EC)は、土壌中水溶性塩類の総量の指標として有効とされる(亀和田, 1991)。EC は、河川敷内においても 3~16dS m^{-1} と幅広く分布し、微地形により大きく栄養塩類の量が異なることが示唆された。永田地区における EC は、T-1<T-2<T-3 の順に高くなり、是政、関戸においては、低水敷に比べて高水敷は高い値を示したが、堤防法面は低い値を示した。

水溶性イオンは、特定の存在形態の画分を指しているわけではない。土壌中の全ての無機イオンは、平衡によって固相と液相の二相間に分配されており、固相に対する液相の比率が大きくなるほど液相中の溶解量は多くなり、水溶性画分は多くなる(亀和田, 1997)。本論では、亀和田(1997)の方法に従い、土壌-溶液比 1:5 の水浸出溶液を分析に用いた。水溶性イオンは、交換態イオンよりも植物の利用形態に近いことが予想され、植物の栄養状態をより直接的に表していると考えられる。

NO_3^- は P や K と並ぶ三大必須要素である N の主要形態である。土壌の水浸出液中の NO_3^- は、土壌溶液に溶存していた全量、または土壌含量の全量が測定される(波多野, 1986)。 NO_3^- 濃度は、T-1, T-2 および S-1 では 1~2ppm 程度と低濃度であったが、27.2ppm と最も高濃度であったニセアカシア林である T-3 をはじめ、K-2, K-3, K-4, S-2 では比較的高濃度を示した。K-1 は定量限界以下であった。 NO_3^- は、植生の発達している T-3, K-4, および堤防法面の K-3, S-2 において高濃度であったのに対し、礫質な未熟土である T-1, T-2, K-1 では低濃度であった。河田(1987)は、ニセアカシア林の土壌改良効果、すなわち肥沃度の促進は著しく、とくにリターフォール中の N の量が多いことを報告しており、永田地区における安定植生域の拡大は、ニセアカシア林による土壌の肥沃度が大きく関与している可能性が示唆された。

三大必須要素の1つである P は、pH の高い土壌では Ca と難溶性塩をつくるため、土壌溶液中の濃度はきわめて低く、作物の生育には、可給態 P_2O_5 にして数 ppm 含まれていることが望ましいとされている(加藤, 1989)。ただし、本研究で採用した方法と抽出法が異なるので、単純な比較はできない。 HPO_4^- 濃度は、T-1 および T-2 では 4ppm 以下であったが、T-3, K-1, K-2 および S-2 では 5~6ppm 程度、K-3, K-4, S-1 および S-3 は 10ppm 以上の濃度を示し、とくに K-3 は 21.7ppm と全サンプル中最も高い濃度を示した。全体的な傾向は、 NO_3^- と類似していたが、T-3 では NO_3^- のように際立って高濃度を示さなかった。

K は N と並んで要求量の多い養分である。K は作物の生育のためには、土壌溶液中に最

低 5ppm 含まれていることが望ましいとされている(加藤, 1989). K 濃度は, T-1, T-2, K-1 および K-2 では 1~2ppm 程度であるのに対して, T-3, K-4, S-1, S-2 および S-3 では 4~8ppm 程度, K-3 では 14ppm を示した. 礫質の裸地では低濃度であり, 植生の発達した地点で高濃度であるという傾向は, NO_3^- および HPO_4^- と同様であった.

Ca^{2+} は, 全体的に高濃度であったが, とくに T-3 および S-3 において高濃度であった. Cl^- , NH_4^+ , Mg^{2+} , Na^+ は, 全体的に低濃度で, 地点間に特徴的な差はみられなかった. SO_4^{2-} は, K-2 および K-3 で他地点より高濃度で, K-2 では河川水からの影響が示唆された.

このように, 土壤の水浸出液中のイオン濃度は, 立地と植生によって大きく異なることが示された. P 濃度は, 各地点において植物の生育に十分な濃度であることが示唆された. また K 濃度は, 礫質な河原である T-1, T-2, K-1 および K-2 においては植物にとって若干の欠乏状態にあり, その他の地点では生育に十分な濃度であることが示唆された. N に関しては, NH_4^+ より, NO_3^- が主要な形態であった. NO_3^- 濃度は, 礫質な河原である T-1, T-2, K-1 では植物は欠乏状態にある一方, 植生の発達した地点では生育に十分な濃度である可能性が示唆された. また, いずれの地点においても NH_4^+ は低濃度であり, NO_2^- は検出限界以下であった.

以上の結果から, 多摩川中流域の河川敷土壤のうち, 礫質な立地では植物にとって K および N がやや不足状態であり, P は生育に十分であることに加え, 河原本来の環境といえる永田地区では高 pH が示され, 多摩川の河川敷は, 貧栄養であるだけでなく, 植物にとって厳しい環境である可能性が示唆された. 植生が発達した高水敷や堤防法面では, 本来の河原の栄養状態からみると富栄養化していることが示された. また, 都市域の是政・関戸では, 微地形によらず pH が 7 前後を示し, 河原本来の厳しい環境が緩和されていることが示された. このように, 河川敷土壤の状態は, 河原本来の状態から変化しつつあり, 帰化植物をはじめ, 中・大型の多くの植物が侵入・定着可能な環境にあることが示唆された.

4.2 出水による化学性の変動

永田地区の各微地形は, 規模の異なる 2 つの出水により, 異なる影響をうけることが示された (Fig. 4-1 a~d). pH は, T-1 では冠水の度に低下する傾向を示したが, T-2 では小規模な出水により低下し, 大規模な出水では上昇した. T-3 では, 出水による変動はみられなかった. Eh は, T-1 および T-3 では出水による大きな変動はみられなかったが, T-2 では土壤の堆積と冠水により, 若干還元性を示した. EC も, T-1 および T-3 では大きな変動はみられず, T-2 は出水により大きく上昇した. NO_3^- は, 小規模な出水により大部分が流出し, 残りのほとんどもその後の大規模な出水により流出した. とくに, T-3 では, 出水前は 27ppm であったが, 2 度の出水後, 検出限界以下まで低下した. HPO_4^- は, T-1 では出水による変動はなく, 一定して定量限界以下であった. T-3 では, 小規模な出水による影響はほとんどみられなかったが, 大規模な出水では大部分が流出した. 逆に T-2 では, 小規模な出水によ

り HPO_4^- 濃度は上昇し、大規模な出水により流出した。戸田ら(1999)は、今回の小規模な出水と同規模の出水(最大流量 $500\text{m}_3\text{S}^{-1}$ 程度)では、植物群落が流出しなければ、土壌は有機物およびリンを補足する傾向にあることを報告しており、本研究の結果と一致した。同様の傾向が、 SO_4^{2-} および Ca^{2+} についてみられ、T-2 では小規模な出水により増加し、大規模な出水により流出したが、T-1 および T-3 では大きな変動はみられなかった。 Mg^{2+} は、T-1 で小規模な出水により約半分が流出した以外は、大きな変動はみられなかった。また、 Na^+ は、いずれの地点においても出水による大きな変動はみられなかった。 K^+ は、T-1 および T-2 ではいずれの出水によっても若干低下したにも関わらず、T-3 では小規模な出水により増加し、大規模な出水により増加した分だけ流出した。これは、出水による影響のみならず、降雨にともなうニセアカシアからのリーチングの影響も考えられた。竹中ら(1999)は、平滑な樹皮を持つ落葉広葉樹の樹幹流には、 K が多いことを報告しており、平滑な樹皮をもつニセアカシアからのリーチングの可能性も示唆された。 NH_4^+ は、T-1 および T-3 では出水により低下したが、T-2 では小規模な出水により増加し、大規模な出水により低下した。

以上の結果から、T-2 では小規模な出水により、 HPO_4^- 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} および NH_4^+ を補足するが、大規模な出水ではそれらの成分も流出すること、T-1 では、いずれの出水によっても大きく増加する成分はないこと、T-3 ではいずれの出水によっても NO_3^- はほとんど流出するが、その他の成分は影響を受けにくいことが示された。とくに、T-3 では K が特殊な変動をみせ、河川水以外に、ニセアカシア林からのリーチングによる影響も考えられ、植生の発達により河川敷の物質循環は変化しつつある可能性が示唆された。

4.3 EC と主要イオンの関係

ECが高い土壌では、硝酸イオンが優占陰イオンとなっている場合が多く、とくに主要陰イオンの全濃度(mmol)と ECは正の相関関係にあることが報告されている(亀和田,1991)。上記のように、三大必須栄養素のうち、制限要因となっているのは N であることが示唆されたので、ECと NO_3^- 濃度との間に相関がみられるのであれば、ECの測定により簡易に富栄養化を診断することが可能になる。そこで、ECと全陰イオン濃度(NO_3^- 、 HPO_4^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} の合計;以下、 mmol L^{-1})の関係を Fig. 4-2 に、 NO_3^- 濃度との関係を Fig. 4-3 に示した。しかし、 NO_3^- 濃度と ECとの間に相関関係はみられず、全陰イオン濃度との間にも相関関係はみられなかった。 HPO_4^- (Fig. 4-4) Cl^- (Fig. 4-5)、 SO_4^{2-} (Fig. 4-6)も、ECとの間に相関関係はみられなかった。全陽イオン濃度についても同様に、ECとの関係を示した(Fig. 4-7)。また、 Ca^{2+} (Fig. 4-8)、 Mg^{2+} (Fig. 4-9)、 K^+ (Fig. 4-10)、 Na^+ (Fig. 4-11)についても ECとの関係について示した。その結果、最も ECとの間に関係がみられたのは Ca^{2+} であり、 NO_3^- 濃度の簡易測定法として ECの測定は、有効ではないことが示された。

4.4 イオンバランスによる土壌の分類

土壌溶液中のイオンは、おおよそ次式のようにイオン平衡を保っているとされる（ただし mmol L^{-1} ）(亀和田, 1997).



河川敷土壌の陰イオンと陽イオンとの関係を Fig. 4-12, および Fig. 4-13 に示す. 多くの土壌が陽イオン側によっており, ここには考慮されていない HCO_3^- の存在が示唆された. 貧栄養の礫質河原の土壌は, 総イオン濃度が低く, かつ陽イオン側に偏って分布しており, これらは未熟な土壌といえる. 安定した植生を発達させ, 洪水の影響を受けていない高水敷の土壌, および堤防の土壌は総イオン濃度が高く, ほぼ平衡状態にあり, 成熟した土壌であると言えた. 洪水の影響を受けた成熟土壌や, 植生が発達段階にある高水敷土壌は, 総イオン濃度は高いものの, 陽イオン側に偏っており, HCO_3^- の影響が依然として強い土壌であると言えた.

5 丸石河原固有種と周辺帰化植物

河川敷に自生する植物のうち、セイタカアワダチソウ（小林ら，1972），クズ（藤井ら，1990）やニセアカシア（諸岡ら，2000）など，他感作用活性が知られている植物は高い活性を有する一方で，オニウシノケグサ（Luu et al., 1982 ; Luu et al., 1989）およびセイバンモロコシ（Martin・Smith，1994）は，他感作用活性が知られているが，高い活性を示さない可能性を本研究は明らかにした（3）．この原因として他感作用の季節変動も考えられた．

侵入植物は，休眠種子を生産し，土壌シードバンク（土壌中に蓄積する生存種子の集団）を形成するものが多く，オオブタクサに関する研究から，一旦優占を許すとその影響はきわめて長期にわたる可能性が示唆されている（宮脇・鷺谷，1996；鷺谷，2000）．つまり，洪水による攪乱や人為的刈取りにより群落が破壊されても，土壌シードバンクが永続すれば，群落は再生されることを意味する．このように，侵入植物は河川敷植生の初期遷移のあり方を大きく変化させていると考えられる．

河原固有の在来種であるカワラノギクは，マルバヤハズソウ - カワラノギク群集の標徴種で，礫質河原の遷移における先駆相である（奥田，1978）．カワラノギクは，河川敷保全の象徴として研究が行なわれてきたが，多摩川においては絶滅寸前であり，今後は造成した河原において管理を受けながら保全されることが考えられる．その際，侵入した帰化植物も同時に生育し，カワラノギクとの間に干渉作用を生じることが予想される．また，マルバヤハズソウ - カワラノギク群集の次の遷移段階であるカワラヨモギ - カワラサイコ群集の標徴種であるカワラサイコも，多摩川においてその個体群は衰退している．しかし，本来のハビタットである礫質の高水敷だけでなく，堤防法面にも生育することが可能であるなど（倉本，2000），絶滅寸前の状態までには至っていない．なお，どちらの種も土壌シードバンクは形成しない．

本節では，これら絶滅が危惧される河原固有の初期遷移種に与える侵入植物の影響を，他感作用の面から検討するため，カワラノギクおよびカワラサイコの周辺に生育する植物のうち 帰化植物を中心に 13 種をポット栽培し 葉および根の有する他感作用を検索した．

5.1 丸石河原でみられる植物における他感作用活性

カワラノギクおよびその周辺植物のプラントボックス法による生物検定の結果を Table 5-1 および Fig. 5-1 に，サンドイッチ法による生物検定の結果を Table 5-2 に示す．また，砂耕栽培後の各植物の地上部長，地上部および地下部乾重量，および T/R 比を Table 5-3 に示す．

プラントボックス法による生物検定の結果，レタス幼根伸長に対する阻害が最も強かったのは，刈取り処理後のフォーンで，87%の阻害率を示した．ただし，これは 1 反復のデータであるので信頼性は高いとはいえない．最も活性が低かったのは，ヒメムカシヨモギ

で、幼根伸長阻害率は 54%であった。全 48 個体の平均阻害率は、75%となり、同一法による既報の結果（藤井，2000）と比較しても強い阻害を示した。

サンドイッチ法による生物検定の結果、10mg および 50mg とともに幼根および胚軸の伸長を強く阻害したのは、ニセアカシアであった。ヒメムカシヨモギは、10mg で 43%、50mg で 46%の幼根伸長阻害率を示し、栽培した植物の中で最も活性は低かった。全 15 サンプルの平均阻害率は、10mg で幼根伸長に対して 44%、胚軸伸長に対して 5%、50mg で幼根伸長に対して 73%、胚軸伸長に対して 14%となった。既報の結果（猪谷，1999）や、本研究で行った多摩川に自生した試料の結果（3 参照）と比較しても高い阻害率である。幼根と胚軸の伸長程度（対照区比）の分布（Fig. 5-2 および Fig. 5-3）を、本研究における自生試料の結果（Fig.3-1 および Fig.3-2）と比較しても同様のことが示された。Fig. 5-4 に、根の活性と葉の活性（50mg）の分布を示す。根部の阻害率は、80%程度を示した植物が多く、葉部の阻害率は、70～90%を示した植物が多かった。

5.2 コセンダングサ

コセンダングサは、裸地に優占する一年性の先駆種で、熱帯アメリカ原産の帰化植物である。コセンダングサは、プラントボックス法による検定の結果、刈取り処理後のフォーソン（1 反復）を除くと、全サンプル中で最も強い阻害作用を示した。レタス幼根伸長に対する阻害率は、85%（4 反復）で、藤井・服部（2001）が侵入植物の他感作用をプラントボックス法により検定した結果と比較しても、最も活性の強いグループに入ると言える。*Bidens* 属の多くの植物の根部からは、ポリアセチレンが検出されているほか（Marchant *et al.*, 1984）、コセンダングサの根部からはフラボングルコシドが検出されている（Brandao *et al.*, 1998）。Stevens・Tang（1985）は、コセンダングサの根部に強力な生育阻害活性があり、脂質性物質の関与が大きいことを指摘している。しかし、脂質性のポリアセチレンは、寒天に溶出しにくいことが予想されるので、コセンダングサのプラントボックス法による高い活性は、フラボノイドによってもたらされた可能性も考えられた。

アレロパシー物質として直接作用するとされるフラボノイドは少ないことから（Rice, 1984）、フラボノイドの分解過程において生成される *p*-ヒドロキシ安息香酸など、水溶性の物質が作用した可能性が示唆された。Stevens・Tang（1985）は、コセンダングサ根部の生長阻害活性は、生長段階初期より成熟期において強まったと報告している。本研究で供試したコセンダングサは、生長段階初期のものであるにも関わらず、85%という強力な阻害作用を示したことから、成熟期にはさらに阻害率が高まることが予想された。プラントボックス法において 90%以上の阻害率を示した植物は、既報においてほとんどみられない。本試験において、コセンダングサ根部が示した強力な他感作用活性が、生育期のみならず、成熟期においても発現するならば、河川敷の裸地におけるコセンダングサの優占には、他感作用が大きく寄与している可能性が示唆された。

サンドイッチ法によるコセンダングサ葉部の他感作用を検定した結果、50mg でレタス幼

根伸長を 66% 阻害した .コセンダングサの新鮮葉からは ,*p*-クマリン酸(Sashida, *et al.*, 1991), フェニルヘプタトリイン (Campbell *et al.*, 1982) が単離されている . これらは , いずれも強力な生育阻害物質であるが , サンドイッチ法による検定ではそれほど高い活性を示さなかった . 原因として , 砂耕栽培時の水分ストレスによる影響が考えられ , 根部に比べ , 地上部は乾燥条件に敏感である可能性が推察された . また , 本研究 (3 参照) において行なった 2001 年に採取された自生種の結果と比較すると , 栽培した種の方が 10% ほど高い活性を示した . これは , 2001 年夏期の異常な雨不足が , 河川敷に自生するコセンダングサにとって過度な水ストレスとなり , 活性を低下させたため , ポット栽培したものの方が高い活性を示したことが予想された . 砂耕栽培期間中 , 桐生 砂の乾燥に最も敏感に反応したのが , コセンダングサであったことから , 乾燥に対する耐性は低いことが予想された .

以上の結果 , コセンダングサの他感作用活性は , 葉より根において高く , 先駆種としての優占には , とくに根の他感作用が大きく寄与している可能性が示唆された .

5 . 3 オオアレチノギクとヒメムカシヨモギ

同じ *Erigeron* 属であるオオアレチノギクとヒメムカシヨモギは , 夏から秋にかけて繁茂する二次遷移の第 2 段階における帰化優占種である (沼田 , 1977b). 外観および生活型ともに酷似した 2 種であるが , 化学生態的性質は異なることが報告されている (小林 , 1979). Kobayashi ら (1980) は , *Erigeron* 属のポリアセチレンの形態と含有量について分析し , オオアレチノギクの地上部には *cis*-lachnophyllum ester (*cis*-LE) が 506ppm , 地下部には 864ppm 含まれている一方 , ヒメムカシヨモギの地上部には *trans*-matricaria ester (*trans*-ME) が 30ppm , 地下部に 221ppm 含まれることを報告している . また , これらポリアセチレンの阻害作用の大きさは , LE > *cis*-DME > *is*-ME *trans*-ME control の順であることが報告されている (沼田 , 1977b).

本研究において , プラントボックス法による検定の結果 , ヒメムカシヨモギの根部は 54% の阻害率を示し , 葉部はサンドイッチ法による検定の結果 , 10mg で 43% , 50mg で 46% の幼根伸長阻害率を示した . 一方 , オオアレチノギクの根部は , 75% の阻害率を示し , 葉部は 10mg で 69% , 50mg で 84% の幼根伸長阻害効果が認められ , 葉部 および根部ともに高い活性が示された . 葉部の阻害傾向は , 本研究 (3 参照) で示した自生種の結果と一致した .

本研究において , 葉部および根部ともにヒメムカシヨモギよりオオアレチノギクが高い阻害活性を示したことは , これまでに報告されている含有するポリアセチレンの形態 , 含有量 (Kobayashi *et al.*, 1980) およびポリアセチレンの阻害活性の差異 (沼田 , 1977b) と合致した . *Erigeron* 属の 2 種の植物は , 初期遷移の第 2 段階における優占種であるが , 化学生態的な視点からみると , オオアレチノギクの方が周辺植物に及ぼす影響が大きいことが推察された .

5 . 4 メマツヨイグサ

メマツヨイグサは、立地を選ばず河川敷全体に分布し(倉本ら, 1993), カワラノギクを含む群落には70%以上の頻度で出現する二年生の帰化植物である(倉本ら, 1992). プラントボックス法による検定の結果, メマツヨイグサの根部は, 74%と高い阻害率を示した. サンドイッチ法による検定の結果, メマツヨイグサ葉部は, 10mgで47%, 50mgで67%の幼根伸長阻害率を示した. 本研究において行なった自生個体の検定結果(3参照)と比較すると, 自生していたメマツヨイグサの方が高い活性を示した. 多摩川河川敷で採取されたメマツヨイグサが2年目の成熟段階にあったのに対し, 栽培実験に供した試料は栽培2ヶ月目の幼植物であったことから, 生育段階による他感作用活性の変動も推察された.

カワラノギクと同じ2年草で, カワラノギクとともに生育する頻度の高いメマツヨイグサが高い他感作用活性を示したことは, メマツヨイグサがカワラノギクに及ぼす影響を評価する上で, 非常に興味深い結果であろう.

5.5 シナダレスズメガヤ, ネズミムギとエノコログサ

シナダレスズメガヤは, アフリカ原産の多年草で, 緑化によく利用されており, 逸出したものが河川敷にも侵入し在来種を圧倒している(鷲谷, 2000). シナダレスズメガヤの他感作用に関する報告は今までみられないが, プラントボックス法による検定の結果, シナダレスズメガヤの根部は68%の阻害率を示した. サンドイッチ法による検定の結果, シナダレスズメガヤ葉部は, 10mgで28%, 50mgで68%の幼根伸長阻害率を示した. 自生個体の検定結果(3参照)と比較すると, 栽培したシナダレスズメガヤの方が活性は高かった. 葉部の活性は高いとはいえないが, 根の活性は, 既報の結果(藤井, 2000; 藤井・服部, 2001)と比較すると高いグループに入るといえる. シナダレスズメガヤの侵入は著しいので, 今後リター

の検定も含めて詳細に解析を行ない, 侵入・定着における他感作用の関与を検定する必要がある.

ネズミムギは, 地中海沿岸原産の多年草で, 牧草や緑化に用いられている植物で, 河川敷では立地条件に関わらず, 広く分布することが報告されている(倉本ら, 1993). プラントボックス法による検定の結果, ネズミムギの根部は, 76%の阻害率を示した. サンドイッチ法による検定の結果, ネズミムギ葉部は, 10mgで33%, 50mgで71%の幼根伸長阻害率を示した. 自生試料の検定結果(3参照)と比較すると, 栽培したシナダレスズメガヤの方が高い活性が認められた. Martin・Smith (1994) は, 成熟期のネズミムギ茎葉部から得た抽出液には, 自家中毒的作用があり, また藤井・服部(2001)は, プラントボックス法による検定でネズミムギの根部は, 90%の阻害率を示したことを報告しており, 本研究においても他感作用活性を有することが示された.

多摩川河川敷で採取された自生個体の結果では, ネズミムギのリターが50mgで幼根伸長を90%も阻害することが示されており, 生育段階による変動や阻害物質の同定を含めて, より詳細な検討が必要であろう.

エノコログサは、在来の一年草であるが、河川敷においても広く分布している。プラントボックス法による検定の結果、エノコログサの根部は、80%の阻害率を示し、サンドイッチ法による検定では、エノコログサ葉部は、10mgで25%、50mgで72%の幼根伸長阻害率を示し、根部、葉部ともに高い活性を示した。多摩川で採取された自生試料の検定結果との間に差はみられなかった。エノコログサを含めた *Setaria* 属の植物は、他感作用を有することが広く知られており (Rice, 1984)、藤井・服部 (2001) が行なったプラントボックス法による検定では、レタスに対してアキノエノコログサは73%、エノコログサは68%、コツブキノエノコロは65%の阻害効果を示した。*Setaria* 属の広い分布には、他感作用が関与している可能性が推察され、物質の同定など詳細な解析が必要であると考えられる。

5.6 ニセアカシア

北米原産の木本植物であるニセアカシアは、多摩川河川敷で急速に分布を拡大しつつあり (倉本・井上, 1996; 李ら, 1999)、安定植生を形成し、カワラノギクの生育地であるオープンな立地を減少させている。プラントボックス法による検定の結果、ニセアカシアの根部は、78%という高い阻害率を示した。サンドイッチ法による検定の結果、ニセアカシア葉部は、10mgで75%、50mgで86%と高い幼根伸長阻害率を示したほか、栽培した植物の中では唯一、胚軸伸長も阻害した。2001年に多摩川で採取された自生個体前の検定結果と比較すると、栽培したニセアカシアの方が高い活性を示したが、その原因として2001年夏期の雨不足による過度の水ストレスが考えられた。ニセアカシアがもたらす群落の種組成や階層構造の単純化 (前河・中越, 1997) と他感作用との関係は6に詳述した。

5.7 オニウシノケグサ

オニウシノケグサは春先に出芽し、夏前に結実するヨーロッパ原産の多年草で、牧草および緑化植物として利用され、野生化したものが河川敷に多く侵入している。オニウシノケグサは、河川敷において立地条件によらず広く分布し (倉本ら, 1993)、遷移のごく初期過程において裸地に侵入するので、カワラノギクを含む群落 (単位個体群も含む) に90%以上の頻度で出現する (倉本ら, 1992)。

プラントボックス法による検定の結果、フーンおよび野生種ともに70~80%と高い阻害率を示した。サンドイッチ法による検定の結果、フーンは50mgで幼根伸長を75%阻害し、高い活性が認められた。オニウシノケグサの他感作用活性は、遺伝型により明らかに異なることが報告されているが (Peters・Zam, 1981)、フーンと野生種の間には大きな差がみられなかったことから、野生化したオニウシノケグサは、フーンに近い系統である可能性が推察された。

1 反復のデータではあるが、矮小種のピュアゴールドも、プラントボックス法による検定の結果、高い阻害活性を示した。多摩川で採取された自生種の検定結果と比較すると、明らかに栽培したオニウシノケグサの方が高い活性を示した。この結果は、オニウシノケグ

サの他感作用活性は春から初夏にかけて高まり、夏期には低下するという Luu ら (1982) の報告と一致するもので、オニウシノケグサは生長期に他感作用を発現させ、自己の生育を有利にしている可能性が示唆された。オニウシノケグサの茎葉部からは、生育阻害物質として乳酸、コハク酸、シキミ酸などいくつかの有機酸が同定されているが (Luu *et al.*, 1989)、水溶性の有機酸に加えて、シキミ酸経路で合成される物質の関与も推察され、根における生育阻害物質とあわせて物質の同定を行ない、他感作用のメカニズムを解明する必要がある。

5.8 カワラノギク

カワラノギクは一回繁殖型の多年草で、出水により形成されるオープンな丸石河原に個体群を形成し、数年後に最盛期を迎えるが、遷移の進行とともに衰退し、10年ほどで消滅する (倉本ら, 2000)。衰退の原因として、侵入してくる植物による影響や自家中毒の可能性が考えられているが (井上, 1994)、明らかにはされていない。

プラントボックス法による検定の結果、ロゼット期のカワラノギクの根部は、81%と極めて高い阻害率を示した。サンドイッチ法による検定では、カワラノギクの葉部は、レタスの幼根伸長に対して 10mg で 53%、50mg で 79%と高い阻害作用を示した。胚軸伸長に対しても、10mg で 27%、50mg で 50%と高い阻害活性を示した。カワラノギクの他感作用活性は、今までまったく知られていなかったが、*Aster* 属の植物には、薬用植物と知られているものが多い。

ノコンギクは、地下部にトリテルペンサポニンが含まれているほか (Sakai *et al.*, 1999)、*Aster batangensis* の地下部からはサポニンに加え、フェノール性グルコシドが同定されている (Yu *et al.*, 1996)。また、*Aster bellidiflorum* の地上部からは、トリテルペノイドサポニンが同定されている (Schopke *et al.*, 1995)。しかし、他感作用に関与しているトリテルペンは少ないとされ (Rice, 1984)、その他の物質を合成し、他感作用を発現している可能性が推察された。

カワラノギクの花は、薄紫色であることに加え、花期には葉が赤色化する。これにはフラボノイドであるアントシアニンが関与していると考えられる。フラボノイドは、A および B の 2 個のベンゼン環をもち、A 環は酢酸-マロン酸経路により、また B 環を含む C6-C3 骨格は、シキミ酸経路から生成される (桜井ら, 1989)。アントシアニンには、シキミ酸経路で生成される *p*-オキシ安息香酸や *p*-クマル酸を結合したものが多く、これらの物質が他感作用候補物質として作用した可能性も考えられた。また、アントシアニンのアグリコンであるアントシアニジンは、B 環にカテコール構造をもつ。カテコール構造をもつ物質には、ムクナに含まれる *L*-3,4-ジヒドロキシフェニルアラニン (*L*-DOPA) など、強力な生育阻害物質として報告されているものがある (藤井, 1994)。アントシアニジンが他感作用物質として作用しているのであれば、葉が赤色化する花期にその濃度は高まり、リターを介して他感作用を発現させていることが予想される。本研究により明らかとなったカワラノギク

の他感作用の潜在性は、アントシアニジンが他感作用物質として関与している可能性を示唆するものであり、今まで駆逐される立場としてみられてきたカワラノギクの新しい性質として、今後より詳細な解析を行なう必要がある。

以上の結果から、カワラノギクおよびカワラサイコの周辺に生育する植物は、高い他感作用活性を有する可能性が示唆された。また、園芸栽培していたノコンギク、カワラナデシコ、アワコガネギク、およびオミナエシに高い活性は認められず、河原に特有の植物の中で高い活性を示した種はみられなかった。高い他感作用活性を示した多くの植物が、カワラノギクと競合するとされる帰化植物であったことは、決して無視できない事実であろう。

オニウシノケグサおよびニセアカシアは、とくにカワラノギクと生育環境が類似し、また競争力が強い植物として、その繁茂を制御する必要性が示されている(倉本・井上, 1996)。この2種が非常に強力な他感作用活性を示したことは今後の検討課題として注目に値する。ニセアカシアとカワラノギクが共存することは稀であり、その原因はニセアカシアによる被覆であるとされるが(倉本・井上, 1996)、さらなる要因の1つとしてニセアカシアによる他感作用が関与している可能性も示唆された。オニウシノケグサは、カワラノギクと同様に、遷移の初期に裸地に侵入するため、カワラノギクと最も競合する植物とされている(倉本, 1995)。井上(1999)は、カワラノギクに及ぼすオニウシノケグサの化学的影響について検討している。しかし、その方法は不十分といえ結果に不明な点が多い。ニセアカシアとは異なり、オニウシノケグサとカワラノギクの間には直接的な干渉を生じることが考えられ、またカワラノギクが高い他感作用活性を有する可能性が示唆されたため、今後はオニウシノケグサがカワラノギクに及ぼす影響のみならず、カワラノギクがオニウシノケグサに及ぼす影響を他感作用の面から検討する必要もあろう。

カワラサイコの周辺にも、本研究で供試した植物が多く生育することが予想される。しかし、カワラサイコは、イネ科植物が束生する堤防法面にも生育可能であることから(倉本ら, 2000)、他感作用に対して感受性が低い可能性も考えられ、相互的な検証が求められるよう。

ニセアカシア林の林床に、オニウシノケグサが密生する現象が観察されており(倉本, 私信)、永田地区においても実際に確認された。これは、ニセアカシアがもたらす群落の種組成や階層構造の単純化(前河・中越, 1997)の1例と考えられる。Larson・Schwarz(1980)は、オニウシノケグサなど6種の植物の抽出液がニセアカシアの生育を阻害し、また窒素固定能を低下させることを報告している。このことから、ニセアカシア群落の単純化は、次のような仮説により説明される。

オニウシノケグサは、アレロパシー物質によりニセアカシアの萌芽の生育を抑制する一方、ニセアカシアのアレロパシー物質により、林内の植物は生育を阻害される。しかし、オニウシノケグサは、ニセアカシアのアレロパシー物質に対する感受性が低く、その生育は阻害されにくいいため、ニセアカシア林の林床にオニウシノケグサが優占する。この仮説

を立証するためには、ニセアカシア およびオニウシノケグサの生育阻害物質を同定し、相互影響を検定する必要がある。また、永田地区では、安定植生域を構成するニセアカシア、オオブタクサおよびススキが複雑な動態を示すことが報告されており（季ら、1999）、そのメカニズムの一因として他感作用が関与している可能性も推察された。

今後、ニセアカシアにくわえて、自生個体において高い他感作用活性が確認されたオオブタクサの生育阻害物質を同定し、オオブタクサ、ススキおよびニセアカシアの3種間における化学生態的な相互作用を検証する必要があるだろう。

カワラノギクは、これまで駆逐される立場としてしか認識されていなかったが、本研究において高い他感作用活性を有する可能性が示唆されたことにより、新たに2つの点が示された。1つは、カワラノギクの個体群が発達するにつれ、その自生地が生育に適さなくなり、10年ほどで衰退する現象（井上、1994）の原因の1つとして、カワラノギクの自家中毒的作用が関与している可能性である。本研究で供試した個体は、ロゼット期のものであったため、今後は成熟個体についても検定をおこなうとともに、他感作用候補物質の同定をおこない、自家中毒的作用を検定する必要がある。

自家中毒的性質は、大型の多年草の侵入により駆逐される前に、大規模な洪水によって造成される丸石河原に新たな個体群をつくり、種を生存させるという生存戦略の一環を担う機能があるのかもしれない。自家中毒的作用が存在するのであれば、造成した丸石河原においてカワラノギクを管理するにあたり、自家中毒作用を抑える必要性も生じると考えられる。アレロパシーは、植物体の残渣が土壌表層に存在する場合にとくに大きな影響力を発揮するといわれ（Guenzi *et al.*, 1967; Tukey, 1969; Smith, 1989）、リターを経路として他感作用を発現させていることが予想されたカワラノギクは、群落が発達するにつれて他感作用の影響を強めると推察された。木炭の施用は、アレロパシー物質の作用を抑制するという報告があり（Inderjit・Foy, 1999）、自家中毒作用の抑制に効果があるかどうか、野外において検証してみる実験は有効かもしれない。

もう1点として、カワラノギクの他感作用が、周辺に生育する他種に影響を及ぼす可能性が示唆されたことがある。Table 5-3 に示したように、イネ科植物および1年草であるコセンダングサは成長が早く、高いT/R比を示したのに対し、その他の2年草および多年草のT/R比は低かった。生育初期における高いT/R比は、被覆によりカワラノギクの生育を阻害すると考えられるので、刈取りによる管理が必要となる。刈取り処理により、シナダレスズメガヤ根部の他感作用活性は低下したが、オニウシノケグサおよびネズミムギは、根の他感作用活性が高まった（Table 5-1）。この結果は今後、より詳細な刈り取り処理による活性の変動を検証する必要性を示唆している。一方で、低いT/R比を示した植物は生育初期にはカワラノギクと同程度の草丈である。そのため、光をめぐる競合に加え、他感作用が干渉に寄与する可能性が大きいと考えられた。カワラノギクが、これら植物に対してどのような作用を及ぼすのか、またどのような影響を周辺の植物からうけるのか詳細な検証は必須であろう。

6 ニセアカシア林と周辺植物

現在、永田地区における典型的な植生として、ニセアカシア林が挙げられる。ニセアカシアは、永田地区右岸陸域において最も優勢な樹木である（星野，2000）。本種は砂防や肥料木、緑化用樹として明治時代初期に日本に持ち込まれた北米原産の落葉広葉樹で、山腹、溪流、河原、海岸、放棄耕作地など、様々な場所への侵入が見られる。これらの多くは河口の緑化施工地からの逸出によるものであると考えられている（前河，2002）。

根からの萌芽による栄養繁殖を行うこと（玉泉ら，1991）、樹形の可塑性が大きく不安定な立地にも適応できること（前河，2002）などが河川において群落を拡大したおもな要因であると考えられているが（星野，2000）、他感作用、物理的な遮光効果などの要因も含めた植生動態への影響には解明の余地が残されている。

ニセアカシアは、永田地区右岸の陸域でもっとも優勢な樹木であり、ニセアカシア林は同地区の植生を特徴づけるものである（星野，2000）。ニセアカシアの繁茂およびニセアカシア林における植生動態への他感作用の寄与を考察した。

6.1 ニセアカシア林に生育する植物の他感作用

Table 6-1 および Fig. 6-1, 6-2 および 6-3 に、ニセアカシア林に生育する植物の他感作用検定結果を示した。生育する植物種は、奥田・笠原（2000）のニセアカシア群落常在度表に従い選定した。

幼根の伸長率は、10mg 包埋区において 54-77%、50mg 包埋区で 27-65%の範囲であった。ニセアカシア林に生育する種としない種、それぞれの平均値に有意な差は認められなかった。星野（2000）は、各植物の生育場所をニセアカシアの被度および細粒土壌厚によって分類したが、この分類に従い、幼根長の伸長率で分類した結果を Fig. 6-4 に示す。他感作用の強さと生育場所の間に関連は認められなかった。このことから、生育場所の選択には、他感作用以外の要因が強く働いていると考えられた。

6.2 土壌存在下での他感作用の発現

土壌は他感作用の発現に大きく関わる因子である。他感物質は土壌中で粘土粒子に吸着されたり、土壌微生物による分解を受ける（Rice，1984）。そのため、他感作用の実際の環境中における寄与を評価する場合、土壌の存在を考慮に入れることは不可欠の作業となる。

ある種の植物は、根から土壌に有機酸類を放出し、生育環境の改善を図ることが知られている。たとえば、酸性土壌において、有機酸類を放出することで溶脱アルミニウムを錯体として解毒する例や、リン栄養獲得のために難溶性リン酸を可溶化する例がある（井上ら，1994）。

ニセアカシアは林内における被度が高いことから、林床の土壌には本種から放出された他感物質が高い濃度で存在する可能性があり、他植物の生育を阻害するのみでなく、他種他感作用発現に影響を及ぼしている可能性も考えられた。また、ニセアカシア林には独自の群集構造が形成されることが知られている(前河・中越, 1997)。そのため、ニセアカシアの他感物質による感受性や、他感物質の化学性の違いが各植物のニセアカシア林における生育可能性を決定づける要因の一つになっていることも予想された。

一方で、高 pH である多摩川の河原土壌が、他感作用活性を助長するなど、なんらかの影響を及ぼす可能性も予想され、本来、河原において他感作用を保持・発現していた植物が、ニセアカシア林において活性を発現できず、戦略上不利になっている可能性も推察された。さらに、単独で強い活性を示さない他感物質も、数種の物質による相乗作用で強い活性を示す例が報告されている(Rice, 1984)。

土壌中に残存するニセアカシア由来の他感物質と林床に生育する植物の他感物質による相乗作用、もしくは相殺作用を検証するため、土壌存在下での他感作用活性検定を行った。植物種はニセアカシアに加え、永田地区において優占種である外来種のおオブタクサ、メマツヨイグサ、および在来種であるクズを用いた。これらは全て、他感作用の存在が示唆されている種である。おオブタクサは、おもに中水敷およびニセアカシア林に生育するが、近年は丸石河原へも侵入がみられる種である(星野, 私信)。クズは広い生育域をもつ。メマツヨイグサはおもに丸石河原に生育する種である。

Table 6-2~6-5 および Fig. 6-5~6-13 に、土壌存在下での他感作用活性検定の結果を示す。また、Fig. 6-14 および 6-15 に、土壌を添加した場合の阻害の低下率を示す。サンドイッチ法と同様、レタスの幼根長によって阻害の程度を判定した。なお、土壌の Eh, EC, pH, 有機態炭素量を Table 6-6 に示す。

各土壌添加包埋区において、幼根の伸長阻害がみられた。とくにニセアカシア林より採取した土壌(以下林床土壌)添加区では 1g 添加区において約 62%、5g 添加区では 35% と強い阻害作用を示した。丸石河原より採取した土壌(以下河原土壌)では 1g 添加区で 84%、5g 添加区では 87% と阻害は弱かった。土壌による阻害は、河原土壌の 1g 添加区と 5g 添加区の間では差は小さかったが、林床土壌では 1g 添加区と 5g 添加区の阻害率の差が大きかった。河原土壌は林床土壌に比べ pH が高かったが、レタスの伸長に影響のない範囲内であり(Reynolds, 1975)、pH による直接的な影響ではないと考えられた。林床土壌には、ニセアカシア由来と予想される伸長阻害物質が含まれており、これにより添加量による阻害の差異が出たことが示唆された。

通常のスンドイッチ法で得られた結果と比較すると、土壌の添加により、阻害率は変化した。林床土壌を添加した場合、阻害率は 1g 添加区で 15%、5g 添加区で 34% ほど大きく低下した。この原因として、植物葉から溶出した阻害物質が土壌によって吸着されたことが考えられた。これは、林床土壌の有機態炭素量が大きいことや、土壌の添加量を増やすと阻害率が低下されたことから裏付けられた。ニセアカシアでも他種と同様に阻害率の

低下が起こったことから，土壤中に含まれるニセアカシア由来の他感物質と，乾燥葉から溶出した他感物質の相殺作用による阻害低下ではないと推察された．

河原土壌の添加では，1g 添加区で全種の阻害率が低下したが，5g 添加区では植物によって傾向が異なった．ニセアカシアの阻害率は低下し，オオブタクサおよびメマツヨイグサは阻害が大きくなった．クズの阻害率は変わらなかった．

河原土壌は林床土壌よりもテクスチャーが大きく，他感物質が吸着されやすいことが予想されたが，添加量を増やすと伸長阻害が大きくなった．このことから，阻害物質の吸着は少なく，河川土壌の存在により阻害作用が促進されたことが示された．河原土壌は林床土壌に比べ pH が高いことが明らかにされたが，高 pH 土壌では陽イオンが水酸化物の形態で多く存在し，低 pH では炭酸塩の形が多い（4 参照）．水酸化物由来の OH⁻イオンが，乾燥葉より溶出した他感物質と反応し，レタス幼根の伸長阻害を引き起こした可能性が推測された．

植物種による阻害低下率の差異は，各植物の他感物質が異なることを示唆した．すなわち，水溶性の高い物質ほど土壌の吸着を受けない．クズは，4 種の中では比較的土壌による阻害率の変化が小さかった．ニセアカシアの阻害作用は，全ての土壌添加区において大きく低下した．よって，クズは水溶性が高く土壌に吸着されにくい物質，ニセアカシアは土壌に吸着されやすい物質を他感物質として保持していることが推察された．メマツヨイグサは，林床土壌の添加により阻害作用が低下し，河原土壌の添加では高められた．そのため，メマツヨイグサの他感物質は，吸着を受けやすく，かつ高 pH の河原土壌と相乗作用を示す物質であることが示唆された．

以上の結果より，本研究で用いた 4 種の生育場所の違いが，化学生態学的な要因から説明される．メマツヨイグサは，おもに低水敷の丸石河原に群落を形成し，ニセアカシア林には少ないことが報告されているが（奥田・笠原，2000），その理由として，ニセアカシア林よりも河原において他感作用を効果的に発現させることができるために，河原に生育する戦略を取ったことが推察された．近年みられるオオブタクサの丸石河原への侵入は，河原において他感作用が発現しやすいことも関与していると考えられた．

また，ニセアカシアのみが河原土壌によって阻害効果を弱められたことから，河原にニセアカシアが繁茂しない原因として，貧栄養で低 N であること以外に他感作用を発現できないことが関与する可能性が示された．これは，他感作用の発現程度が，植物の生育場所の選択に関係している可能性を示唆するものであり，実際環境下における他感作用の寄与率と発現機構をより詳細に検討することが必要である．

7. 他感作用活性の季節変動

上述してきたアレロパシーの解析において、一つのキー・ワードが浮上した。それが他感作用活性の季節変動である。実際の多摩川河川敷においても、春先に萌えだした若葉から冬の荒涼としたモノトーンの景色まで、四季を通じて見た目の植生は劇的に変化する。また、季節の多摩川を彩る花々も、次々と主役が交代していく。くわえて、本来の河川敷風景のオリジンとなる出水は夏～秋季に集中し発生する。後者の、生息環境における物理的攪乱は、河川敷土壌の化学環境を劇的に変化させることも、本研究は明らかにした（4参照）。

このような背景から、一年を通じて移り変わる河川敷、その構成種は生存戦略としてのアレロパシー活性を、やはり環境や競争種に合わせて変化させている可能性が推察された。また、アレロパシー研究の分野においても、意外に、野生種における生長に伴った活性の変化は把握されていない。

本研究では、とくに2002年に河川敷植生の構成種におけるアレロパシー活性の季節変動解析を目的とした調査を行った。

7.1 各種における季節変動

2002年に採取された植物58種150サンプルのうち、26種について、季節による活性の変動を考察した。結果をFig. 7-1に示す。

シロザは、実生であった4月に最大の活性を示した。6月および8月には活性が低下し、10月の花期後半には再び活性が高くなった。実生の時期に活性が高かったのは、防御上の戦略である可能性が考えられた。他種とは異なり、花期に活性が強くなった。花期の葉は赤変しており、アントシアニンに関連する物質の関与も考えられた。

メマツヨイグサは、4月の幼个体で23%、6月の生育期で26%と高い活性を示したが、6月の開花个体では41%と活性が低下した。8月の開花个体では、32%を示した。花期における活性の低下がみられた。6月は開花初期であったため、他感物質の産生が低下し、8月にやや産生量が回復した可能性もある。また12月のロゼットで47%と低い活性を示した。植物がロゼットを形成するのは冬期であるが、冬期は降水量が少なく、リーチングによる他感物質の放出が起こりにくいため物質の産生が少なくなるか、戦略の上でロゼットが他種を抑えて生育する必要がないためと考えられた。

オギは、4月に42%とやや強い活性を示し、6月では51%に低下し、8月に45%に上昇した。10月の開花个体では70%と著しく低下し、花期による物質産生の低下と考えられた。12月のリターでは49%の活性であった。近種のススキでは、生育期・リター共に59%程度と活性は弱かったが、8月に39%とやや強い活性を示した。ススキ・オギ共に花期前の8月に活性が高かった。開花前に物質産生が活発になったか、花期前の防御機構である可能

性が考えられた。オギとススキは形態や生育パターンが似ているが、生育域は重ならず、樹林内にも生育できるオギに対し、ススキは河原を好むことが知られている。オギの方が活性が強いことから、他種との競争に強いオギに対し、比較的弱いススキが競争の少ない河原で生育するという戦略の違いが考えられた。

オニウシノケグサは、8月の花期に活性の低下がみられたほか、9月採取の試料では著しく活性が高まった。オニウシノケグサは、開花後、夏に一度枯れ、再び成長するという生活史を持つ。Luu ら (1982) によると、オニウシノケグサの他感作用活性はもっとも成長する時期に最大になり、暖かい時期には活性が低下する。9月に採取した個体は、枯死後新たに成長した個体であり、本報告と一致する。Luu らはさらに、活性はリターで最大になるとも報告しており、本研究で採取していないリターも供試する必要がある。

シナダレスズメガヤは、4月に活性が最大で、その後6月・9月と低下した。本種も、オニウシノケグサと同様、生長が大きいとき活性が最大になる傾向を示す可能性が示唆された。

チガヤは、リターで61%と活性が弱く、雨水による溶脱の可能性が考えられた。花期である4月は35%の活性を示し、6月に56%に低下し、9月に再び活性が高くなり35%を示した。

メリケンカルカヤは、4月のリターでは67%と活性を示さず、溶脱が考えられた。6月および9月は31%および33%と強い活性を示した。

アレチウリは、4月の個体を子葉および初生葉にわけてそれぞれ供試したが、初生葉で最大の活性を示した。6月および8月には大きな変化は見られず、10月に再び活性が強くなった。

オオアレチノギクは、生育中期であった6月にやや活性が強かったが、大きな変動はみられなかった。

オオブタクサは、花期の8月に活性の低下がみられた、また10月に採取したリターでも活性が低下した。この原因として、花期で他感物質の産生が減少したことが示唆された。リターは10月に採取され、雨水による溶脱は少ないと考えられるため、リターの他感物質の保持量が少ないことが推察された。リターによる放出は、発芽時に他種の成長を抑制し、優位に立つための戦略と考えられるが、同時に自家中毒のリスクもある。オオブタクサは競争種であると同時に攪乱依存的な性格も持ち、発芽後他種に先駆けて成長し、地表面を被覆するため、発芽前には戦略として他感作用を発現する必要がないか、または自家中毒により発芽が抑制されるリスクを伴う他種の成長を抑える戦略よりも、発芽に影響が出ない戦略を選択したためであると考えられた。

カワラヨモギは、4月の幼個体において35% (50mg 包埋区) の活性を示した。しかし6月・8月の個体では活性を示さなかった。幼個体の葉表面には白い絹毛が密生し、糸状葉をつける成個体とは葉の形状も異なる。キク科の二次代謝産物は、葉表面の glandular trichome から放出されることが報告されており (Nilsson and Zackrisson, 1992 ;

Zackrisson and Nilsson, 1992 ; Gershenzon, 1994) , この幼個体の絹毛が , 他感物質の放出に有利に働いている可能性が示唆された .

ヨモギは , 4 月の幼個体で 21%と最大の活性を示し , カワラヨモギと同様 , glandular trichome からの他感物質放出との関連が推察された .6 月には 53%に低下し ,8 月に 38% , 10 月に 28%と , 活性が高まった .

キクイモは , 生育期・花期にかかわらず 40%前後と , 活性の変動は見られなかったが , リターでは全く活性を示さなかった . 本種もオオブタクサと同じく , リターによる他感物質の放出を行わない種であるか , またはリターが分解される課程で物質の放出を行う種であることが推察された .

セイタカアワダチソウは , 8 月に 72%と活性を消失した他は 46%程度の弱い活性を示した . 本種の他感作用についてはいくつかの報告 (沼田 , 1977 ; Kobayashi *et al.* , 1980 ; 中村・根本 , 1996) があるが , 地下部からの滲出に関する報告が主である . 地下部の他感物質としてポリアセチレン化合物の *cis*-DME が同定されている . 猪谷ら(1998)の報告では , 葉部の活性は地下部の活性に比べて弱かったが , 今回の結果はその報告を裏付ける結果となった . これは *cis*-DME が水に易溶性でないためにサンドイッチ法では溶出せず , 障害が出なかった可能性がある . また , *cis*-DME 以外の水溶性の他感物質を保持し , その抑制作用で弱い活性を示した可能性もある . あるいは , 本種の他感物質の放出経路は葉部より地下部からの滲出量が多いことも考えられた .

ヒメジョオンは , 4 月および 6 月の幼個体では 23%および 25%と高い活性を示したが , 6 月の花期の個体では活性を示さなかった .

ヒメムカシヨモギは , 6 月には 56%と弱い活性を示したが , 8 月の花期には 45%とやや活性が高くなった . 10 月のリターでは 53%と活性は弱かった .

カナムグラは , 4 月の幼個体では 25%と高い活性を示したが , 6 月および 8 月には 38%程度にやや低下した . 10 月の結実期には 27%と強くなった . リターであった 12 月で 23%と最大の活性を示したことから , カナムグラの他感物質は分解・溶脱を受けにくい物質であるか , またはリターによる放出をおもな戦略としているためと考えられた .

イタドリは , 4 月の幼個体で 24%の活性を示した . 同じく 4 月に採取された越年個体は 35%の活性を示し , 成長により活性の低下が起こっていると考えられた . 6 月および 8 月では 26%程度の活性であったが , 10 月の個体では 33%に低下した . さらに 12 月採取のリターは 70%と , 活性を示さなかった . タデ科の植物の体内にはシュウ酸塩が比較的高濃度で存在し , これが他感物質として働いていることが示されているが (猪谷ら , 1999) , 本種においてもシュウ酸の関与が考えられた . イタドリと同じタデ科のママコノシリヌグイで , リターで活性が弱まったことが報告されている (猪谷ら , 1998) . これは活性物質が溶脱あるいは分解しやすいためと考えられたが , 本種においても同じ原因であるか , シュウ酸が不溶性のカルシウム塩に変化した可能性が推察された .

アオツツラフジは , 花期である 6 月は活性がほとんどなかったが , 結実期に入った 8 月

および 10 月，リターの 12 月に 35%程度の活性を示した．つる植物は支持組織にかかるコストをおさえる戦略を持ち (Avalos and Mulkey, 1999) , また栄養獲得に不利であることから，花期における資源消費が相対的に大きく，他感物質物質の産生が著しく低下した可能性が推察された．

サボンソウは，4 月に 50mg 包埋区で 66%と，活性を示さなかったが，結実期の 8 月には 35%と活性を示した．多くの植物が成長前の 4 月に高い活性を示しているのと逆の結果であった．

ヤブガラシは，4 月および 6 月には生育期個体と開花個体が共に 17%程度の活性を示したが，8 月には生育期個体で 35%，花期個体で 41%と活性が低下した．これは生育ステージによる変動より，気温の変化による季節変動であると考えられた．10 月の生育期個体は 28%の活性を示した．

クズは，4 月に 50mg 包埋区で 18%と最大となり，花期の 8 月には 38%ともっとも弱くなり，次いで 10 月に採取したリターの活性が弱かった．しかし，もっとも活性が低下してはいるが，他種の結果と比較すると強い活性であり，本種が年間を通じて強い他感作用活性を示すことが明らかになった．

ニセアカシアは，4 月の若木の葉で 12% (50mg 包埋区) と強い活性を示した．10mg 包埋区においても 18%と強い活性を示したことから，ニセアカシアの他感物質は少量で強い阻害作用を示す可能性が示された．10 月に 34%とやや低下したが，生葉およびリター共に 25%程度の強い活性を示した．リターによっても生葉と同様の阻害作用を示したことから，本種は年間を通じて他感作用を発現し，環境に強いインパクトを与えうる種であると言える．

以上の結果は，河川敷植生を構成する野生種が，ほとんどの種において生育ステージによる他感作用活性の変動を示すことを明らかにするものであった．

7. 2 変動パターンによる分類

26 種を，変動パターンにより以下のように分類した．

- 1) 季節を通じて強い活性を示すもの：オオアレチノギク・イタドリ・ニセアカシア・メリケンカルガヤ・ヒメムカシヨモギ・コセンダングサ
- 2) 弱いもの：キクイモ
- 3) 幼植物で強い：カナムグラ，アレチウリ，イタドリ，カワラヨモギ，シロザ，ニセアカシア，ヒメジョオン，メマツヨイグサ，ヨモギ，オニウシノケグサ
- 4) 幼植物で弱い：ガガイモ
- 5) 成長段階が進むにつれ強くなる：サボンソウ
- 6) 成長段階が進むにつれ弱くなる：イタドリ，カワラヨモギ，シナダレスズメガヤ

- 7) 花期に強くなる：シロザ，クズ，チガヤ，ヒメムカシヨモギ
- 8) 花期に弱くなる：カワラヨモギ，ヒメジョオン，メマツヨイグサ，アオツツラフジ，オオブタクサ，オギ
- 9) 結実期に強くなる：カナムグラ，コセンダングサ，サボンソウ
- 10) リターで強い：カナムグラ
- 11) リターで弱い：チガヤ，オオブタクサ，イタドリ，キクイモ
- 12) その他：ススキ（8月花期前に強くなる），セイタカアワダチソウ（8月花期前に弱くなる），メマツヨイグサ（ロゼットで弱い）

もっとも変動した種数が多かった生育ステージは幼植物期であり，ついで結実期，花期，リターの順であった．幼植物は，支持組織が未熟な時期で，動物による捕食を受けやすいことに加え，他種との生存競争が開始される時期である．強い他感作用活性の保持は，生存のための戦略の一つである可能性が考えられた．とくに，キク科の植物に幼植物で強い傾向がみられた．

キク科植物の二次代謝産物の放出は，葉表面の glandular trichome から行われるが（Gershienzon, 1994），カワラヨモギの葉表面には絹毛が密生しており，幼植物期に glandular trichome が多いことは，他感物質の放出に適した形態であると推察された．幼植物期に強い活性を示さなかった種はオオブタクサ・キクイモ・ヤブガラシであった．オオブタクサは生育期に高い相対成長率を持ち（鷲谷，1996），他の植物より早く成長して光競争に優位に立つ．このため，幼植物期には他感作用による戦略が不要であったことが示唆された．ヤブガラシは，つる植物であり，他種の被陰に適した携帯をもつことから，他感物質による化学的な抑制より，被陰による物理的な抑制がおもな戦略であると推察された．キクイモは常に活性が低く，どの生育段階でも他感作用を戦略として用いないことが推察された．

花期において多くの種で活性が低下したのは，花芽形成にともない他感物質の産生量が低下したためか，花部に他感物質が移行したためと考えられた．Mizutani and Yamane（1991）の研究において，キレハイヌガラシの他感物質の一つ，hirsutin の前駆体であるグルコシノレート含量が開花期後半に高くなったことを報告していることから，花部へ他感物質が移行した可能性が推察された．花期直前に活性が強くなったススキは，花期の防御の戦略としての他感作用の保持だと考えられた．花期で弱い活性を示した種が，アオツツラフジを除き，花期に栄養生長を中断しない種でなかったことは，栄養生長の中断と他感物質の産生量の低下が関連をもつ可能性を示唆した．

結実期は，供試した種が少なく確定的ではないが，すでに繁殖期を終え，他植物との競争が少ない時期であることから，戦略ではなく植物の生理的な現象として他感物質含有量の増加が起こったと推察された．

リターによる放出は，とくに木本植物で経験的に観察されてきた現象である．落葉広葉樹の場合，落葉量は樹種によらず一定（3t/1ha・year）であることが知られており，負荷量が

大きいことが推察されたが，リターで強い種は少なかった．チガヤおよびメリケンカルカヤは，リターが 4 月に採取されたため物質が溶脱していると考えられ，冬期採取での活性を検討する必要がある．

8. 植生中における他感作用寄与の可能性

実際の環境下において他感作用が周囲に与える影響の大きさは、植物が保持する他感物質の濃度ではなく、環境中に放出される他感物質の量に依存する。他感物質の放出経路としては、葉からのリーチングおよび根からの滲出の占める割合が大きく重要であるが、これら葉部と根部の活性は必ずしも相関せず、葉部 もしくは根部いずれかのみで活性が高い種も存在することが報告されている（藤井，2000；Shiraishi *et al.*, 2002）。このように、ある植物の他感作用活性について考察するときには、葉部 もしくは根部いずれかだけの検定では不十分といえ、両方の結果を合わせて考察する必要がある。

8.1 根部の他感作用活性の検定

Table 8-1 および Fig. 8-1 に、根部の他感作用活性の検定結果を示す。また、葉部および根部の他感作用活性の関係を Fig. 8-2 に示す。

もっとも強い活性を示したのはカナムグラで、15%の極めて強い活性を示した。もっとも弱かったのはアレチウリで、51%の活性であった。アレチウリは5反復の標準偏差が15とばらつきが大きかったが、葉面積が大きい個体は阻害率が低くなる傾向が見られた（Fig. 8-3）。よって、地上部への他感物質の転流が起こったために活性にばらつきが生じた可能性がある。カナムグラはクワ科であるが、同科のクワで、同じ検定方法で高い活性を示した報告があり（鈴木，1997）、クワ科に共通して地下部の他感作用活性が高い可能性が考えられた。Fig. 8-2 より明らかなように、葉部と根部の活性の間には相関が見られず、既報（藤井，2000；Shiraishi *et al.*, 2002）の結果を支持した。

8.2 葉部および根部を含めた Impact Factor

葉表面からリーチングされる他感物質の量は、葉重 および葉面積と相関すると考えられるため、S/R 比の大きい種はリーチングによる放出が相対的に大きく影響し、小さい種は根部からの放出量がより大きな比率でインパクトを与えることが予想される。葉部 および根部を合わせた Impact factor として、次の3種を考案した。

Impact factor 1

$$= (1 - \text{SW の値}/100) \times S/R + (1 - \text{PB の値}/100)$$

Impact factor 2

$$= (1 - \text{SW の値}/100) \times L/R + (1 - \text{PB の値}/100)$$

Impact factor 3

$$= (1 - \text{SW の値}/100) \times \text{LAR} + (1 - \text{PB の値}/100)$$

プラントボックス法に供試した個体の地上部は，試験によるストレスを受けており正確な結果が出ないことが予想されたため，他感作用活性の試験に用いず，プラントボックス法に供試したときの生育ステージと近い個体の結果を用いた．各結果を Table 8-2 に示す．

Impact factor1 は，地上部・地下部の乾重量による，2 は他感物質の放出元である葉および根部の質量比による計算である．しかし他感物質は葉表面の trichome より放出されるため (Nilsson and Zackrisson, 1992 ; Zackrisson and Nilsson, 1992)，葉重よりも葉面積の方がより正確であると考えられ，3 を考案した．

Impact factor1 が最大であった種はアレチウリであった．アレチウリの根部における阻害率は5種のなかで最低であったが，S/R 比が高く，葉部からの物質放出が大きいため，環境に与える Impact が大きくなった．

Impact factor2 および 3 で最大であった種は，カナムグラであった．葉部の活性が最大であったオオブタクサおよびシロザは，S/R 比が低いことから Impact factor は高くならなかった．つる植物は栄養生長の段階が花の形成によって中断されることなく，全生育期間を通じて葉面積が増大し続けるため (Jensen, 1932)，実際の環境中の Impact factor はこれよりさらに大きいと推察される．

前項において，葉部の他感作用活性は幼植物期に高い傾向を示すことを明らかにしたが，S/R 比が小さい幼植物期に，より高い密度で他感物質を保持することで，放出元である葉表面の trichome 数の少なさを補っているか，逆に，放出元が少ないために葉中の含有量が高いことが推察された．また，先に葉面積が大きくなるほど根部の阻害が小さくなることを述べたが，これら 2 つの仮説より，植物体内に保持する他感物質の量は，ある程度一定であることが予想された．これを証明するためには，各器官ごとの他感物質の含有量について，他感物質の同定も含めた詳細な研究が必要であろう．

9. 土壌 pH の変化が他感作用活性に及ぼす影響

多摩川の河川敷は、その化学的環境という視点で俯瞰すると、きわめて劇的な変化を有した興味深いフィールドであると考えられた。地質学的なバック・グラウンドから、本来の河川敷土壌は高いアルカリ性であり、上流から下流へ、さらには低川敷から高川敷という水平方向の変化で、その pH は劇的に低下する。さらには、人為活動に起因すると考えられている窒素飽和や酸性雨といった環境変化の影響も懸念される。

一方で、ニセアカシア林の土壌は強い生育阻害作用を持つことが示され、その土壌は、生育する植物に対し生長阻害を起こす濃度で他感作用物質が含まれていることが明らかとなった（6 参照）。その経路として、降雨によるニセアカシア葉からのリーチング・地下部から土壌への浸出、リターを介した蓄積が考えられるが、実環境下での蓄積量および分解量を把握した研究はほとんどない。

また、オオブタクサやオニウシノケグサなど、侵入が問題化しているニセアカシア以外の外来植物の優占原因としても他感作用の関与が考えられてきたが、いずれも実験的研究にとどまり、実環境下での実効性を証明した研究は なされていないのが現状である。

以下からは、とくにリーチング時および土壌中での発現条件として pH に着目し、作用物質の化学性を推定すると共に、阻害作用発現の最適条件と実環境における整合性を検討した。

9. 1 サンドイッチ法による pH とリーチング特性の検討

検討の結果を Table 9-1 および Fig. 9-1 に示す。試験の終了後、各寒天の pH を測定したところ調製時の pH は保たれていなかった。そのため、この実験法は不適切と結論され、他の植物では実験を行わず、抽出液法で以下に示す考察を行った。

なお、pH2.6 から 10.6 の被検液条件ではレタスの発芽率に影響しないことが Reynolds(1975) によって明らかになっており、pH による伸長への影響は無視できると判断した。

9. 2 抽出液法による pH とリーチング特性の検討

各植物の結果を Table 9-2, 3, 4 および Fig. 9-2, 3, 4 に示す。また、各植物の丸石河原およびニセアカシア林、それぞれの土壌存在下における他感作用活性を Fig. 9-5, 6, 7 に示す。

ニセアカシアは pH7 で抽出したとき、幼根および胚軸両方に対し最も強い阻害活性を示した。また pH9 でやや弱い阻害活性を示した。

pH4 および 5.6 では水抽出と同程度の阻害活性であった。これらのことから、ニセアカシア林床の土壌 pH が、本種の滲出物質によってもたらされたものでないと仮定すれば、pH7

程度を示す林床土壌は、本種の他感作用を発現するのに最適条件であることが示された。

この結果から、土壌存在下におけるアレロパシー活性の検定方法で観察された(7参照)、林床土壌の存在下で他感作用活性が弱くなる現象は、土壌による他感作用物質の物理的吸着によるものであることが支持された。

有機溶媒抽出では、一般的に抽出力が強いとされているメタノール抽出でも、水抽出に比べ弱い活性を示した。Nasir *et al.* (2003)の研究は、本種の90%メタノール抽出画分がもっとも高い阻害活性を示したことを報告しているが、本研究の結果は、それと異なった。また、本種のエタノール抽出液区では、検定植物(レタス)の幼根 および胚軸ともに、対照区や他の処理区に比べて細くなる現象が観察された。

オオブタクサは、pHによる阻害活性の差は認められず、リーチング時のpHに影響を受けなかった。しかし有機溶媒抽出では水抽出より弱い活性を示し、減圧乾燥の際、加熱により揮発あるいは分解されたため活性を失った、もしくは、水抽出では溶出しにくい伸長促進物質または水溶性阻害物質に拮抗的に作用する物質が抽出され、その複合影響として対照区より弱い活性を示した可能性が推測された。

オオブタクサの開花前の生葉からモノテルペンおよびセスキテルペン類が検出された例があり(作田, 1987)、揮発性のこれらの物質が他感作用物質のひとつとして関与している可能性も推察された。また、丸石河原の土壌存在下で他感作用活性が強くなったのは河原土壌のpH以外の要因、つまり河原土壌中のイオンによる官能基の変化によるものである可能性が推測された。

メマツヨイグサはpH4での抽出で、やや強い活性を示した。土壌pHを想定したpH7およびpH9では、阻害活性の差は小さかった。本種は河原土壌の存在下で最も阻害活性が強くなったが、オオブタクサと同様、土壌の高pHでは説明できず、別のイオンによる官能基の変化が関与していると考えられた。

有機溶媒抽出ではエタノール抽出でもっとも強い阻害活性を示し、ニセアカシアと同様、幼根および胚軸が細いことが確認された。前述のとおり一般的にメタノール抽出の方が抽出力は高いとされており、ニセアカシアおよびメマツヨイグサのエタノール抽出で共通して強い阻害活性が観察されたことは今後の検討課題であろう。

10. おわりに

多摩川河川敷における植生の遷移を、アレロパシーという化学物質による相互作用をモノサシとして解析を試みた。

調査が終了した 2004 年現在、進行している植生遷移は、大きく以下 2 つの事象が問題とされている。一つは、侵入してきた外来種の帰化による生態系の攪乱、さらには生物多様性の低下である。もう一つは、元来の河川敷環境の変化に起因すると考えられている丸石河原固有種の絶滅である。

本研究は両現象とリンクした他感作用に関する知見として、以下の点を明らかにした。

- 1) 河川敷植生への侵入が著しい外来種は、高いアレロパシー活性を有する種が多い。
- 2) 丸石河原固有種はその多くが高いアレロパシー活性を有さないが、カワラノギクの活性は強く、自家中毒による影響も推察された。
- 3) 河川敷植生の構成種は、それぞれが季節に依存したアレロパシー活性の変動を示すことが明らかとなり、生存戦略として季節変動がリンクし合い、推移している可能性が推察された。
- 4) ニセアカシア林でアレロパシー活性を高める種や、反対に低川敷土壌で活性が高まる種が認められ、生育環境における生存戦略としてのアレロパシー活性の関与が考えられた。
- 5) 酸性雨の降下は、とくにもともと高 pH 環境である多摩川河川敷においては、pH を低下させることにより侵入種の他感作用活性を上昇させる可能性が推察された。

もちろん依然、実環境下でアレロパシー活性がどの程度作用するのか、さらに植生遷移への関与はまだ解明すべき詳細な課題が数多く残されている。しかし、本研究は標的とする土壌を加えたアレロパシー活性の検定法や、抽出法をモディファイさせた評価法も検討し、得られた結果が上記項目で示された興味深い知見をもたらした。

このような本研究で明らかにされた知見は研究例の乏しい実際環境下、とくに半自然状態における植生の遷移において、化学物質を介した相互作用が関与している可能性を示したケース・スタディと位置付けることが可能であろう。なかでも、生育環境の化学条件（pH や栄養塩など）が、他感作用活性に影響する可能性を明らかにし、それが外来種の侵入を助長したり抑制するといった、植生変化における生存戦略として作用している可能性を示唆したことは、画期的な新概念となるかもしれない。

さらに、酸性雨の降下という、地球規模で進行する都市部の大規模環境汚染が、間接的に外来植物の侵入を促し、生態系のかく乱、ひいては生物多様性の低下を引き起こす可能性を示し得たことは、多摩川の植物「発」、地球環境への警鐘と受けとることも可能かもしれず、河川敷の微細な悲鳴に耳を澄ますことが今後も重要と結論された。

本研究は、自然界に進行する環境変化、なかでも植物の化学的変異としての植物化学生態学の分野に幾つもの興味深い課題を提示している。今後の展開が待たれよう。

謝 辞

本研究の遂行にあたりまして，明治大学農学部の倉本宣先生およびカネコ種苗株式会社には供試種子のご提供を賜りました．また，植物種の同定には東京農工大学農学部の星野義延先生，土性の診断には同大農学部の坂上寛一先生 にご協力を賜りました．謹んで御礼申し上げます．

なお本研究は，共同研究者である東京農工大学大学院の浦口晋平君および石川恵理さんの斬新かつ柔軟な発想力および積極的かつ熱心な行動力によって遂行されました．最後に甚大な謝意を表したいと思います．

ありがとうございました．

引用文献

和文(五十音順)

- 石川慎吾(1988)揖斐川の河辺植生. . 扇状地の河床に生育する主な種の分布と立地環境. 日生態会誌, 38, 73-84.
- 石川慎吾(1991)揖斐川の河辺植生. . 扇状地域の砂礫堆上の植生動態. 日生態会誌, 41, 31-43.
- 猪谷富雄・平井健一郎・藤井義晴・神田博史・玉置雅彦(1998)サンドイッチ法による雑草および薬用植物のアレロパシー活性の検索. 雑草研究, 43(3), 258-266.
- 猪谷富雄・藤田啄也・玉置雅彦・黒柳正典・藤井義晴(1999)シュウ酸を多く含む植物のアレロパシー活性の検索. 雑草研究, 44(4), 316-323.
- 井上 健(1994)カワラノギクの場合. 科学, 64(10), 657-659.
- 井上 健(1999)カワラノギクの個体群の生育環境の復元についての研究. とうきゅう環境浄化財団研究助成, 190, 59pp.
- 梅原 徹(1996)河川の植物(In 河川環境と水辺植物, 奥田重俊・佐々木寧編), pp.1-5, ソフトサイエンス社, 東京.
- 奥田重俊(1978)関東平野における河辺植生の植物社会学的研究. 横浜国立大学環境科学研究センター紀要, 4(1), 43-112.
- 奥田重俊(2000)植物相(In 多摩川の総合研究, 河川生態学術研究会編), pp.422-424, (財)リバーフロント整備センター, 東京.
- 小倉紀雄(2000)多摩川の概要(In 多摩川の総合研究, 河川生態学術研究会編). p7, (財)リバーフロント整備センター, 東京.
- 加藤和弘・石川幹子・篠沢健太(1993)小貝川河辺植物群落の帯状分布と河川横断面微地形との関係. 造園雑誌, 56(5), 355-360.
- 加藤秀正(1989)土壌溶液(In 土の化学, 日本化学会編), pp.96-109, 学会出版センター, 東京.
- 亀和田國彦(1997)土壌化学(In 土壌化学分析法, 土壌環境分析法編集委員会編), pp.231-255, 博友社, 東京.
- 萱場祐一(2000)雫石川におけるハビタットの变化と冠水頻度との関連について. 環境システム研究論文集, 28, 347-352.
- 河田 弘(1987)海岸砂丘地におけるクロマツ林とニセアカシア林のリターフォールによる土壌への養分還元量の相違とそれが土壌の諸要因に及ぼす影響. 新大演報, 20, 51-66.
- 河田 弘・小島俊郎(1976)環境測定法 IV - 森林土壌 - (生態学研究講座 30). 共立出版, 東京.
- 鬼頭 誠・吉田重方(1998)数種の植物茎葉を添加した土壌の他感作用活性の消長. 雑草研究, 43(1), 1-9.

- 玉泉幸一郎・飯島康夫・矢幡 久 (1991) 海岸クロマツ林内に生育するニセアカシアの根萌芽の分布とその形態的特徴．九大演報， 64， 13-28．
- 小林彰夫 (1979) キク科雑草とポリアセチレン化合物 - 化学生態学からみた他感作用物質 - ．化学と生物， 14(10)， 643-645．
- 倉本 宣 (1995) 多摩川におけるカワラノギクの保全生物学的研究．緑地学研究， 15， 120pp.
- 倉本 宣・井上 健 (1996) 多摩川におけるカワラノギクの生育地の特性についての研究．ランドスケープ研究， 59 (5)， 93-96．
- 倉本 宣・井上 健・鷺谷いづみ (1993) 多摩川中流の流水辺における河辺植生構成種の分布特性についての研究．造園雑誌， 56 (5)， 163-168．
- 倉本 宣・加賀屋美津子・可知直毅・井上 健 (1997) カワラノギクの個体群構造と実生定着のセーフサイトに関する研究．ランドスケープ研究， 60 (5)， 557-560．
- 倉本 宣・曽根伸典 (1985) 多摩川における固有植物群落の保全と河川敷の利用．造園雑誌， 48(5)， 169-174.
- 倉本 宣・竹中明夫・鷺谷いづみ・井上 健 (1992) 多摩川におけるカワラノギクの保全生物学的研究．造園雑誌， 55 (5)， 199-204．
- 倉本 宣・辻永和容・斉藤陽子 (2000) 多摩川におけるカワラサイコとヒロハノカワラサイコの分布と発芽の特性について．日緑工誌， 25(4)， 385-390.
- 倉本 宣・本田裕紀郎・八木正徳 (2000) 丸石河原固有植物と多摩川におけるその生育状況．明治大学農学部研究報告， 123， 27-32.
- 倉本 宣・鷺谷いづみ・井上 健 (1995) 多摩川におけるカワラノギクの個体群の分断化とその保全における種子散布の役割．ランドスケープ研究， 58 (5)， 113-116．
- 小林彰夫 (1979) キク科雑草とポリアセチレン化合物-化学生態学からみた他感作用物質-．化学と生物， 14(10)， 643-645.
- 斎藤員郎 (1977) 土壌と遷移 (In 群落の遷移とその機構，沼田 真編)， pp.236-247，朝倉書店，東京．
- 坂上寛一・星野義延 (1999) 永田地区の物理・化学的環境 -土壌 (In 多摩川の総合研究，河川生態学術研究会編)， pp.231-242，(財)リバー フロント整備センター，東京．
- 作田芳次 (1987) コセンダングサ及びオオブタクサの精油成分．高知女子大学紀要自然科学編， 36， 1-5.
- 桜井英博・柴岡弘郎・清水 碩 (1989) 植物生理学入門改訂版． 292pp， 培風館，東京．
- 佐々木寧 (1996) 河川環境の特質 (In 河川環境と水辺植物，奥田重俊・佐々木寧編)， pp.1-5，ソフトサイエンス社，東京．
- 清水矩宏 (2001a) 草地・飼料畑の厄介者 外来雑草の防除(4) トウモロコシも押し倒すアレチウリ．酪農ジャーナル， 54(7)， 40-41．
- 清水矩宏 (2001b) 草地・飼料畑の厄介者 外来雑草の防除(7) 巻き付く雑草 セイヨウヒルガオ・マルバルコウ・ガガイモ．酪農ジャーナル， 54(10)， 40-41．

- 渋谷知子・藤井義晴・浅川征男 (1992) シロザのアレロパシー - 活性の評価と微生物の関与 - . 雑草研究, 37(別), 164-165 .
- 渋谷知子・藤井義晴・浅川征男 (1994) エニシダの他感作用発現に及ぼす土壤要因の影響 雑草研究, 39(4), 222-228 .
- 陣内信孝・梅野美佐 (1995) 長崎県諫早市本明水系におけるイネ科植物 (ヨシ, ツルヨシ, アイアシ, オギ, ススキ) の生育地の土壤性質 . 長崎大学教育学部自然科学研究報告, 53, 19-26.
- 高津戸秀・糸川恵美子・阿部文一・鳴門安久 (2000) エノコログサ属植物に含まれるステロールのガスクロマトグラフィーによる定量 . 日本油化学会誌, 49(7), 727-730.
- 高橋理喜男・亀山 章 (1987) 緑の景観と植生管理 . 242pp, ソフトサイエンス社, 東京 .
- 竹中千里・鈴木道代・山口法雄・今泉保次・柴田叡式 (1999) 落葉広葉樹樹幹流の化学的特徴 . 森林地域における酸性降下物流出の広域比較 平成 8-10 年度 No. 08506001, 172-178.
- 近内誠登 (1988) 帰化雑草と除草法の変遷 . 化学と生物, 26 (10), 667-673 .
- 土屋一成 (1990) 野菜のアレロパシー . 農業および園芸, 65, 9-16.
- 続 英治 (1978) 高等植物のアレロパシー . 遺伝, 32 (7), 88-93.
- 程岩松・堀内考次・大場伸哉 (2002) メヒシバ (*Digitaria adscendens* Henr.) の生育に及ぼす数種ハーブ類の抽出液と植物体砕片施用の影響 . 雑草研究, 47(3), 153-160 .
- 戸田祐輔・池田俊介・熊谷謙太郎 (1999) 礫床河川における洪水前後の高水敷植生の変化と栄養塩・有機物の輸送に関する現地観測 . 河川技術に関する論文集, 5, 71-76.
- 中村直紀・根本正之 (1996) セイタカアワダチソウの *cis*-dehydromatricaria ester 含有量および放出量 . 雑草研究, 41(4), 359-361.
- 西垣 晋・渋谷政夫・花岡郁子 (1962) 植生に関連した土壤の Eh とその測定法 (In 続作物試験法, 戸刈義次ら編), pp.497-540, 農業技術協会, 東京 .
- 日本雑草学会 編(1991) 改訂・雑草学用語集 . 234 pp, 城北印刷所, 東京 .
- 日本土壤肥料学会 編(1994) 低 pH 土壤と植物 . 236 pp, 博友社, 東京 .
- 沼田 真(1968) 高等植物の化学的相互作用 - アレロパシー . 生物科学, 20(3), 97-101 .
- 沼田 真 (1977a) 遷移の動因と機構 (In 群落の遷移とその機構, 沼田 真編), pp.6-8, 朝倉書店, 東京 .
- 沼田 真 (1977b) 植物群落と他感作用 . 化学と生物, 15 (7), 412-418 .
- 根本正之(1989) 野草とその他の陸上植物におけるアレロパシー (In 植物間相互作用に関与する化学物質 - アレロパシー研究の現状と文献解題 -, 農林水産省 農業環境技術研究所編) . pp.62-71 .
- 長谷川宏司・天野みどり・浦島三真子・李 海航・水谷純也 (1992) クレス発芽種子とトマト芽生えの他感作用 . 雑草研究, 37 (1), 68-71.
- 畠瀬頼子(2001) 多摩川永田地区現存植生図(2000 年秋季) . 河川生態学術研究会多摩川グル

ープ。

波多野隆介 (1986) イオンクロマトグラフ分析法の理論と実際 (2) -土壌・植物への応用例-。土肥誌, 57(5), 518-520.

林 弥栄 編(1983) 日本の野草 719pp. 山と溪谷社, 東京.

日高 伸(1997)土壌化学(In 土壌化学分析法, 土壌環境分析法編集委員会編), pp.231-255, 博友社, 東京.

平館俊太郎(1999) 根から分泌される有機酸と土壌の相互作用. 化学と生物, 37(7), 454-459.

藤井義晴 (1994) アレロパシー検定法の確立とムクナに含まれる作用物質 L-DOPA の機能. 農業環境技術研究所報告, 10, 115-218.

藤井義晴 (2000) アレロパシー -他感物質の作用と利用-. 230pp. 農文協, 東京.

藤井義晴・児島 清・高林 実 (1994) ブラジル産のマメ科緑肥作物からの他感作用候補植物の検索. 雑草研究, 39 (別), 90-91.

藤井義晴・渋谷知子 (1992) ヘアリーベッチ (*Vicia villosa*) のアレロパシー-活性の評価と圃場における雑草抑制-. 雑草研究, 37 (別), 160-161.

藤井義晴・渋谷知子・安田 環 (1990) 発芽・生育試験による雑草・作物からの他感作用植物の検索. 雑草研究, 35 (4), 362-370.

藤井義晴・服部眞幸 (2001) 侵入・導入植物のアレロパシー-雑草からのプラントボックス法による検索-. 雑草研究, 46 (別), 112-113.

藤井義晴・安田 環 (1987) 植物間相互作用に関与する生理活性物質. ぶんせき, 148 (4), 231-237.

藤井義晴・余田康郎・小野信一 (1993) アレロパシー活性の高い緑肥作物を利用した雑草防除 - 実用性の高い植物種の検索とヘアリーベッチ等有望植物の圃場試験 -. 雑草研究, 38 (別), 144-145.

藤原俊六郎・安西徹郎・加藤哲郎 (1996) 土壌診断の方法と活用. 281pp, 農文協, 東京.

前河正昭 (2002) ハリエンジュ (In 外来種ハンドブック 日本生態学会 編). 204p, 地人書館, 東京.

前河正昭・中越信和 (1997) 海岸砂地においてニセアカシア林の分布拡大がもたらす成帯構造と種多様性への影響. 日生態誌, 47, 131-143.

皆川朋子 (2000) 近年のランドスケープ変化 (In 多摩川の総合研究, 河川生態学術研究会編). pp.107-122, (財)リバーフロント整備センター, 東京.

宮脇成生・鷲谷いづみ (1996) 土壌シードバンクを考慮した個体群動態モデルと侵入植物オオタクサの駆除効果の予測. 保全生態学研究, 1, 25-47.

村上興正・鷲谷いづみ (2002) 外来種と外来種問題 (In 外来種ハンドブック, 日本生態学会編). pp.3-4, 地人書館, 東京.

諸岡伸康・久野勝治・前河正昭・平館俊太郎・藤井義晴 (2000) ニセアカシアのアレロパシー

- の検証と作用物質の分析．雑草研究，45（別），82-83.
- 山本嘉人（1999）人為圧下における半自然草地の植生遷移に関する研究．草地試験報，57，35-78．
- 李 参熙・山本晃一・望月達也・藤田光一・塚原隆夫・渡辺敏（1999）扇状地礫床河道における安定植生域の形成機構に関する研究．土木研究所資料，3622，168pp.
- 鷺谷いづみ（1996）オオブタクサ，闘う - 競争と適応の生態学．219pp，平凡社，東京．
- 鷺谷いづみ（1997）里山の自然を守る市民運動．科学，67（10），779-784.
- 鷺谷いづみ（1998）侵入植物が生物多様性に及ぼす脅威．遺伝，52（5），18-22.
- 鷺谷いづみ（2000）生物多様性を脅かす「緑の」生物学的侵入．生物科学，52（1），1-6.
- 鷺谷いづみ（2001）生態系を蘇らす．116pp．，NHK 出版，東京．
- 鷺谷いづみ，矢原徹一（1996）保全生態学入門．270 pp．文一総合出版，東京．

英文（アルファベット順）

- Avalos, G., Mulkey, S. S. (1999) Photosynthetic acclimation of the liana *Stigmaphyllon lindenianum* to light changes in a tropical dry forest canopy. *Oecologia*, 120, 475-484.
- Bieber, G. L., Hoveland, C. S. (1968) Phytotoxicity of plant materials on seed germination of crownvetch, *Coronilla varia* L. *Agron. J.*, 60, 185-188.
- Bhowmik, P. C., Doll, J. D. (1979) Evaluation of allelopathic effects of selected weed species on corn and soybeans Proc. *North Cent. Weed control Conf.* 34, 43-45.
- Bhowmik, P. C., Doll, J. D. (1982) Corn and soybean response to allelopathic effects of weed and crop residues. *Agron. J.* 74, 601-606.
- Brandao, M. G. L., Nery, C. G. C., Marnao, M. A. S., Krettli, A. U. (1998) Two methoxylated flavone glucosides from *Bidens pilosa*. *Photochemistry*, 48(2), 397-399.
- Brown, R. T. (1967) Influence of naturally occurring compounds on germination and growth of jack pine. *Ecology*, 48, 542-546.
- Campbell, G., Lambert, J. D. H., Arnason, T., Towers, G. H. N. (1982) Allelopathic properties of α -terthienyl and phenylheptaryne, naturally occurring compounds from species of *Asteraceae*. *J. Chem. Ecol.*, 8, 961-972.
- Chase, W. R., Nair, M. G. (1991) 2,2'-oxo-1,1'-azobenzene: selective toxicity of Rye (*Secale cereale* L.) allelochemicals to weed and crop species. *J. Chem. Ecol.*, 17(1), 9-19.
- Connell, J. H. (1978) Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 199, 1302-1309.
- Darwin, C. (1865) On the Movements and Habits of Climbing Plants 渡辺 仁 訳(1991) 145pp. 森北出版，東京.
- Downton, W. J. S. (1975) The occurrence of C4 photosynthesis among plants. *Photosynthetica*, 9(1), 96-105.
- Elmore, C. D., Paul, R. N. (1983) Phenolic deposits and Kranz syndrome in leaf tissues of Spotted

- (*Euphorbia maculata*) and Prostrate (*Euphorbia suoina*) Spurge. *Weed Sci.*, 31, 131-136.
- Fitter, A. H., Hay, R. K. M. (1981) Environmental Physiology of Plants (植物の環境と生理), 太田安定他訳, 学会出版センター, 東京.
- Fox, J. E. (1979) Intermediate-disturbance hypothesis. *Science*, 204, 1344-1345.
- Green, D. M., Brock, J. H. (1994) Chemical status of soils in four urban riparian plant communities. *Landscape and Urban Planning*, 28, 121-127.
- Grime, J. P. (1977) Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. *American Naturalist*, 111, 1169-1194.
- Guenzi, W. D., McCalla, T. M., Norstadt, F. A. (1967) Presence and persistence of Phytotoxic Substances in Wheat, Oat, Corn, and Sorghum residues. *Agron. J.*, 59, 163-165.
- Ibrahim, N. E., Babiker, A. G. T., Edwards, W. G., Pakker, C. (1985) Activity of extracts from *Euphorbia* species on the germination of *Striga* species. *Weed Research*, 25, 135-140.
- Inderjit, Foy, C. L. (1999) Nature of the Interference Mechanism of Mugwort (*Artemisia vulgaris*). *Weed Technol.*, 13(1), 176-182.
- Inderjit, Kaur, M., Dakshini, K. M. M. (1994) Allelopathic effect of *Pluchea lanceolata* (Asteraceae) on characteristics of four soils and tomato and mustard growth. *Am. J. Bot.* 81, 799-804.
- Inderjit, Kaur, M., Foy, C. L. (2001) On the Significance of Field Studies in Allelopathy. *Weed Technology*. 15, 792-797.
- Inoue, K., Kuramoto, N., Maki, M., Masuda, M., Washitani, I. (1998) Identification of conservation measures to protect the Japanese endangered plant species *Aster kantoensis*. *Ecological Research*, 13, 141-149.
- Inoue, K., Washitani I., Kuramoto, N., Takanaka, A. (1994) Factors Controlling the Recruitment of *Aster kantoensis* (Asteraceae). 1. Breeding System and pollination System. *Plant Species Biol.*, 9, 133-136.
- Jensen, P. B. (1932) Die Stoffproduktion der Pflanzen (In 植物の物質生産, 門司正三・野本宣夫共訳) pp.21-133. 東海大学出版会, 東京.
- Kazda, M., Salzer, J. (2000) Leaves of Lianas and Self-Supporting Plants Differ in Mass Per Unit Area and in Nitrogen Content. *Plant biology* 2(3), 268-271.
- Kiseiel, W., Barszcz, B., Szneler, E. (1997) Sesquiterpene lactones from *Lactuca tatarica*. *Photochemistry*, 45(2), 365-368.
- Kitou, M. (1999) Changes in Allelopathic Potential in Relation to Incubation Conditions of Soil Mixed with *Acacia pubescens* (Venten.) Leaf Powder. *雑草研究* 44(4), 309-315.
- Kobayashi, A., Morimoto, S., Shibata, Y., Yamashita, K., Numata, M. (1980) C₁₀-Polyacetylenes as allelopathic substances in dominants in early stages of secondary succession. *J. Chem. Ecol.*, 6 (1), 119-131.

- Koen C., Dubbelden, D., Verburg, R. W. (1996) Inherent allocation patterns and potential growth rates of herbaceous climbing plants. *Plant and Soil* 184, 341-347.
- Larson, M. M., Schwarz, E. L. (1980) Allelopathic inhibition of Black Locust, Red Clover, and Black Alder by six common herbaceous species. *Forest Sci.*, 26(3), 511-520.
- Lee, K., Monsi, M. (1963) Ecological studies on *Pinus densiflora* forest. 1. Effects of Plant Substances on the Floristic Composition of the Undergrowth. *Bot. Mag.*, 76, 400-413.
- Luu, K. T., Matches, A. G., Nelson, C. J., Peters, E. J., Garner, G. B. (1989) Characterization of inhibitory substances of tall fescue on birdfoot trefoil. *Crop Sci.*, 29(2), 407-412.
- Luu, K. T., Matches, A. G., Peters, E. J. (1982) Allelopathic effects of tall Fescue on Birdsfoot Trefoil as influenced by N fertilization and seasonal changes. *Agron. J.*, 74, 805-808.
- Maillet, J., Lopez-Garcia, C. (2000) What criteria are relevant for predicting the invasive capacity of a new agricultural weed? The case of invasive American species in France. *Weed Research*, 40, 11-26.
- Martin, L. D., Smith, A. E. (1994) Allelopathic potential of some warm season grasses. *Crop Prot.*, 13(5), 388-392.
- Menges, R. M. (1987) Allelopathic effects of palmer amaranth (*Amaranthus palmeri*) and other plant residues in soil. *Weed Sci.*, 35(3), 339-347.
- Mizutani, J., Yamane, A. (1991) Chemodynamics of Glucosinolates in kireha-inugarashi. 雑草研究, 39(1), 68-73.
- Molisch, H. (1937) *Der Einfluss einer Pflanze auf die andere -Allelopathie*, p103, Fischer, Jena.
- Naqvi, H. H., Muller, C. H. (1975) Biochemical inhibition (allelopathy) exhibited by Italian ryegrass (*Lolium multiflorum* L.). *Pak. J. Bot.*, 7, 139-147.
- Newman, E. I., Miller, M. H. (1977) Allelopathy among some British grassland species. I. Influence of root exudates on phosphorus uptake. *J. Ecol.*, 65, 399-411.
- Nilsson, M. C. (1994) Separation of allelopathy and resource competition by the boreal shrub *Empetrum hermaphroditum* Hagerup. *Oecologia*, 98, 1-7.
- Nilsson, M. C., Zackrisson, O. (1992) Inhibition of Scots pine establishment by *Empetrum hermaphroditum*. *J Chem. Ecol.* 18, 1857-1870.
- Noss, R. F. (1990) Indicators for monitoring biodiversity: A hierarchical approach. *Conservation Biology*, 4, 355-364.
- Numata, M., Kobayashi, A., Ohga, N. (1973) Studies on allelopathic substances concerning the formation of the urban flora (In "Fundamental Studies in the Characteristics of Urban Ecosystems" Numata, M., ed.), pp.59-64.
- Numata, M., Kobayashi, A., Ohga, N. (1974) Studies on allelopathic substances concerning the formation of the urban flora (In "Studies in Urban Ecosystems" Numata, M., ed.), pp.22-25.
- Obatake, H., Suzuki, H. (1985) On the isolation and identification of Canavanine and Ethanolamine

- contained in the young leaves of Black Locust, *Robinia pseudo-acacia*, lethal for the lady beetle, *Harmonia axyridis*. *Tech. Bull. Fac. Agr. Kagawa Univ.*, 36(2), 107-115.
- Peters, E. J. (1968) Toxicity of tall fescue to rape and birdsfoot trefoil seeds and seedlings. *Crop Sci.*, 8, 650-653.
- Peters, E. J., Zam, A. H. B. M. (1981) Allelopathic effects of Tall Fescue genotypes. *Agron. J.*, 73(1), 56-58.
- Putz, F. E. (1984) The natural history of lianas on Barro Colorado Island. *Panama Ecology* 65,1713-1724.
- Rasmussen, J. A., Einhellig, F. A. (1979a) Allelopathic effects of leaf extracts of *Ambrosia trifida* (Compositae). *Southwest. Nat.* 24, 637-644.
- Reynolds, T. (1975) PH restraints on lettuce fruit germination. *Ann. Bot.* 39, 797-805.
- Reghavendra, A. S., Das, V. S. R. (1978) The occurrence of C₄-Photosynthesis: A supplementary List of C₄ plants reported during late 1974 -Mid 1977. *Photosynthetica*, 12(2), 200-208.
- Rice, E. L. (1984) アレロパシー(2nd Ed.). 八巻敏雄・安田環・藤井義晴共訳(1991), 488pp., 学会出版センター, 東京.
- Ridenour, W. M., Callaway, R.M. (2001) The relative importance of allelopathy in interference: the effects of an invasive weed on a native bunchgrass. *Oecologia*, 126, 444-450.
- Sakai, K., Nagao, T., Okabe, H. (1999) Triterpenoid saponins from the ground part of *Aster ageratoides var. ovatus*. *Photochemistry*, 51(2), 309-318.
- Sawabe, A., Minemoto, K., Ouchi, S., Okamoto, T. (1999) Effects of Acetylenes and Terpenoids from *Solidago altissima* L. on seed germination. *J. Jpn. Oil Chem. Soc.*, 48(2), 139-142.
- Schöpke, T., Al-tamaha, C., Wray, V., Nimtz, M., Meyer, A., Hiller, K. (1995) Triterpenoid saponins from the aerial parts of *Aster bellidiastrum*. *Photochemistry*, 40(5), 1489-1492.
- Shiraishi, S., Watanabe, I., Kuno, K., Fujii, Y. (2002) Allelopathic activity of leaching from dry leaves and exudate from roots of ground cover plants assayed on agar. *Weed Biology and Management*. 2, 133-142.
- Smith, A. E. (1989) Interference with Loblolly Pine (*Pinus taeda*) seedling growth by three grass species. *Weed Tech.*, 3, 696-698.
- Smith, A. E., Martin, L. D. (1994) Allelopathic characteristics of tree cool-season grass species in the forage ecosystem. *Agron. J.*, 86(2), 243-246.
- Stevens, G. A., Tang, C.-S. (1985) Inhibition of seedling growth of crop species by recirculation root exudates of *Bidens pilosa*. *J. Chem. Ecol.*, 11(10), 1411-1425.
- Takenaka, A., Washitani, I., Kuramoto, N., Inoue, K. (1996) Life history and demographic features of *Aster kantoensis*, an endangered local endemic of floodplains. *Biological Conservation*, 78, 345-352.
- Tominaga, T., Watanabe, O. (1997) Weed growth suppression by Congongrass (*Imperata*

- cylindrica*)leaves. *J. Weed Sci. Tech.*, 42(3), 289 -293.
- Tukey, H. B. Jr. (1969) *Implications of allelopathy in agricultural plant science.* *Bot. Rev.*, 35, 1 -16.
- Warashina, T., Noro, T. (1998) *Steroidal glycosides from the roots of metaplexis japonica.* *Phytochemistry.* 49(7), 2103 -2108.
- Washitani, I., Takenaka, A., Kuramoto, N., Inoue, K. (1997) *Aster kantoensis KITAM., an endangered flood plain endemic plant in Japan: Its ability to form persistent soil seed banks.* *Biological Conservation* , 82, 67-72.
- Yu, S., Yun, L. L., Binge, N. Z. (1996) *Phenolic and Triterpenoid glycosides from Aster batangensis.* *Photochemistry* , 41(6), 1593 -1598.
- Zackrisson, O., Nilsson, M. C. (1992) *Allelopathic effects by Empetrum hermaphroditum on seed germination of two boreal tree species.* *Can. J. For. Res.* , 22, 1310 -1319.

Table 2-1. Plant species used for Sandwich method sampled in July from the floodplain vegetation of middle stream of Tama River

No.	Family	Plant species	Origin ^a	Life form ^b	Flowering period	C4 Plant ^c	Location
1	COMPOSITAE	<i>Ambrosia artemisiaefolia</i> var. <i>elator</i>	NA	Ann	Jul-Oct		T-3
2		<i>Ambrosia trifida</i>	NA	Ann	Aug-Sep		T-3
3		<i>Artemisia capillaris</i>	Native	Pn	Aug-Nov		T-3
4		<i>Artemisia japonica</i>	Native	Pn	Sep-Oct		T-3
5		<i>Artemisia princeps</i>	Native	Pn	Sep-Oct		T-1
6		<i>Aster subulatus</i> var. <i>obtusifolius</i>	NA	Ann	Aug-Oct		T-1
7		<i>Bidens frondosa</i>	NA	Ann	Sep-Oct		T-1
8		<i>Bidens pilosa</i>	SA	Ann	Sep-Nov		T-1
9		<i>Erigeron annuus</i>	NA	Ann/Bn	Jul-Oct		T-2
10		<i>Erigeron canadensis</i>	NA	Bn	Aug-Oct		T-1
11		<i>Erigeron sumatrensis</i>	SA	Bn	Jun-Oct		T-1
12		<i>Lactuca indica</i>	Native	Ann/Bn	Aug-Nov		T-3
13		<i>Solidago altissima</i>	NA	Pn	Oct-Nov		T-3
14	PLANTAGINACEAE	<i>Plantago asiatica</i>	Native	Pn	Apr-Sep		Bank
15		<i>Plantago lanceolata</i>	Eu	Ann	Jun-Aug		T-1
16	SCROPHULARIACEAE	<i>Verbascum thapsus</i>	NA	Bn	Aug-Sep		Riverbed
17	UMBELLIFERAE	<i>Torilis japonica</i>	Native	Bn	May-Jul		T-3
18	ONAGRACEAE	<i>Oenothera biennis</i>	NA	Bn	Jul-Sep		T-1
19		<i>Oenothera biennis</i>	NA	Bn	Jul-Sep		T-3
20	EUPHORBIACEAE	<i>Euphorbia maculata</i>	NA	Ann	Jun-Oct		T-1
21		<i>Euphorbia supina</i>	NA	Ann	Jun-Sep		T-1
22	LEGUMINOSAE	<i>Indigofera pseudo-tinctoria</i>	Native	Pn	Jul-Sep		T-3
23		<i>Kummerowia stipulacea</i>	Native	Pn	Aug-Oct		T-1
24		<i>Lespedeza cuneata</i>	Native	Pn	Aug-Oct		Riberbed
25		<i>Robinia pseudo-acacia</i>	NA	Pn	Jul-Aug		T-3
26		<i>Pueraria lobata</i>	Native	Pn	Jul-Sep		T-3
27		<i>Trifolium pratense</i>	Eu	Pn	May-Aug		Bank
28		<i>Trifolium repens</i>	Eu	Pn	May-Aug		Bank
29		<i>Vicia angustifolia</i> var. <i>segetalis</i>	Native	Bn	Mar-Jun		T-3
30	ROSACEAE	<i>Potentilla nipponica</i>	Native	Pn	Jun-Aug		Grassland
31		<i>Potentilla chinensis</i>	Native	Pn	Jun-Aug		Riberbed
32		<i>Rosa wichuraiana</i>	Native	Pn	Jun-Jul		T-2
33	POLYGONACEAE	<i>Polygonum cuspidatum</i>	Native	Pn	Jul-Sep		T-3
34		<i>Polygonum lapathifolium</i>	Native	Ann	Jun-Nov		T-1
35		<i>Rumex obtusifolius</i>	Eu	Pn	Jun-Sep		T-1
36	URTICACEAE	<i>Boehmeria nipponivea</i>	Native	Pn	Jul-Sep		T-3
37		<i>Boehmeria spicata</i>	Native	Pn	Jul-Sep		T-1
38	CRASSULACEAE	<i>Sedum sarmentosum</i>	Native	Pn	Jun-Jul		T-3
39	CUCURBITACEAE	<i>Sicyos angulatus</i>	NA	Ann	Aug-Sep		T-3
40	SALICACEAE	<i>Salix integra</i>	Native	Pn	Mar-May		T-2
41	GRAMINEAE	<i>Agrostis alba</i>	Eu	Pn	Sep-Oct		Bank
42		<i>Bromus catharticus</i>	SA	Pn	Aug-Oct		Bank
43		<i>Digitaria adscendens</i>	Native	Ann	Aug-Oct		Bank
44		<i>Eleusine inidica</i>	Native	Ann	May-Jun		Bank
45		<i>Eragrostis curvula</i>	Af	Pn	Jul-Oct		T-3
46		<i>Eragrostis curvula</i>	Af	Pn	Apr-Jul		T-1
47		<i>Festuca arundinacea</i>	Eu	Pn	Jul-Aug		T-2
48		<i>Festuca arundinacea</i>	Eu	Pn	Aug-Nov		T-1
49		<i>Imperata cylindrica</i> var. <i>koenigii</i>	Native	Pn	Jun-Aug		T-2
50		<i>Lolium multiflorum</i> (litter)	Eu	Ann/Bn	Jun-Aug		Bank
51		<i>Lolium multiflorum</i>	Eu	Ann/Bn	Jul-Nov		Bank
52		<i>Miscanthus sacchariflorus</i>	Native	Pn	Sep-Oct		T-3
53		<i>Miscanthus sacchariflorus</i>	Native	Pn	Jul-Oct		T-3
54		<i>Miscanthus sinensis</i>	Native	Pn	Jul-Oct		T-3
55		<i>Paspalum dilatatum</i>	SA	Pn	May-Jun		Bank
56		<i>Phragmites japonica</i>	Native	Pn	Aug-Oct		T-3
57		<i>Phragmites japonica</i>	Native	Pn	Aug-Oct		T-2
58		<i>Setaria viridis</i>	Native	Ann	Aug-Oct		Bank
59		<i>Setaria viridis</i> f. <i>miseria</i>	Native	Ann	Aug-Nov		Bank
60		<i>Sorghum halepense</i> (Sampled in oct.)	Eu	Pn	Aug-Oct		Bank
61		<i>Sorghum halepense</i>	Eu	Pn	Aug-Oct		Bank
62		<i>Sorghum halepense</i> Pers. f. <i>muticum</i> Hubb.	Eu	Pn	Aug-Oct		Bank
63	EQUISETACEAE	<i>Equisetum ramosissimum</i>	Native	Pn	Mar		T-3

a: NA, North America; SA, South America; Eu, Europe; Af, Africa.

b: Ann, annual; Bn, biennial; Pn, perennial.

c: Plants with C4 photosynthesis pathway.

Table 2-2. Monthly precipitation and temperature in Ome, Tokyo(April ~ December, 2001 · 2002 · normal)

Month	Precipitation(mm)			Temperature()		
	2002	normal	2001	2002	normal	2001
Apr	63	109	34	14.3	12.3	13.3
May	92	111	154	16.6	16.9	17.7
Jun	214	169	106	19.7	20.2	21.3
Jul	214	183	38	26.4	23.6	26.7
Aug	309	221	226	26.4	25.1	24.5
Sep	207	243	336	20.8	21.3	20.8
Oct	277	155	230	16.1	15.7	15.9
Nov	30	81	88	7.9	10.1	10
Dec	74	27	15	4.2	5.2	4.9

Table 2-3. Discharge scale ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) of Tama River at Chofuhashi, Tokyo

Date	Typhoon	Maximum discharge
2001 Sep.8-12	15th	1561
2001 Aug.21-23	11st	414
1982 Sep.	18th	649
1982 Aug.	10th	2129
1974 Sep.	16th	2149

Data was given by Keihin Work Office.

Table 2-4. Soil samples collected from the floodplain of middle stream of Tama River

Location	Sample	Date	Landform	Habitat	Plant community
Nagata	T-1	010716	Low floodplain(Type-1 ^c)	Riverbed	Annual plants
	T-2	010716	Low floodplain(Type-2)	Grassland	<i>Phragmites japonica</i>
	T-3	010716	High floodplain(Type-3)	Wood	<i>Robinia pseudo-acacia</i>
	T-1-8 ^a	010826	Low floodplain(Type-1)	Riverbed	Annual plants
	T-2-8 ^a	010826	Low floodplain(Type-2)	Grassland	<i>Phragmites japonica</i>
	T-3-8 ^a	010826	High floodplain(Type-3)	Wood	<i>Robinia pseudo-acacia</i>
	T-1-9 ^b	010918	Low floodplain(Type-1)	Riverbed	None
	T-2-9 ^b	010918	Low floodplain(Type-2)	Grassland	<i>Phragmites japonica</i>
	T-3-9 ^b	010918	High floodplain(Type-3)	Wood	<i>Robinia pseudo-acacia</i>
Koremasa	K-1	010605	Middle floodplain	Riverbed	<i>Potentilla chinensis</i>
	K-2	010605	Low floodplain	Riverbed	<i>Rumex</i> spp.
	K-3	010605	Riverbank(Lately created)	Grassland	Biennial and perennial plants
	K-4	010605	High floodplain	Grassland	<i>Miscanthus sacchariflorus</i>
Sekido	S-1	010605	High floodplain	Grassland	Bunchgrass with <i>Potentilla chinensis</i>
	S-2	010605	Riverbank(Masonry)	Grassland	Bunchgrass with <i>Potentilla chinensis</i>
	S-3	010605	High floodplain	Grassland	<i>Potentilla chinensis</i>

a: Flooded after Typhoon11th.

b: Flooded after Typhoon15th.

c: Type classification by Lee *et al.* (1999)

Table 2-5. Operating condition for water soluble anion analysis

Pump	HITACHI L-6000
Detector	HITACHI L-3720 Electrical conductivity detector
Recorder	HITACHI D-2500
Analytical column	HITACHI #2710
Eluent	0.75mM Potassium Hydrogen Phthalate 5% Isopropyl Alcohol 2% Ethylene Glycol
Flow	1ml·min ⁻¹

Table 2-6. Plant species cultured in "Kiryu" sand used for bioassay

Family	Species	Origin ^a	Life form ^b	C4 Plant ^c
COMPOSITAE	^d <i>Aster kantoensis</i>	Native	Pn	
	<i>Bidens pilosa</i>	SA	Ann	
	<i>Erigeron sumatrensis</i>	SA	Bn	
	<i>Erigeron canadensis</i>	NA	Bn	
ONAGRACEAE	<i>Oenothera biennis</i>	NA	Bn	
LEGUMINOSAE	^e <i>Robinia pseudo-acacia</i>	NA	Pn	
POACEAE	^e <i>Eragrostis curvula</i>	Af	Pn	
	^e <i>Festuca arundinacea</i> (Fawn)	Eu	Pn	
	^e <i>Festuca arundinacea</i> (PureGold)	Eu	Pn	
	<i>Festuca arundinacea</i> (wild)	Eu	Pn	
	^e <i>Lolium multiflorum</i>	Eu	Pn	
	<i>Setaria viridis</i>	Native	Ann	

a: NA , North America; SA , South America; Eu , Europe; Af , Africa.

b: Ann , annual; Bn , biennial; Pn , perennial.

c: Plants with C4 photosynthesis pathway.

d: Given by N.Kuramoto.

e: Given by KANEKO SEEDS .

Table 2-7. Effect of dry leaf exudate from invading plants and native floodplain plants on the radicle and hypocotyl elongation of *Lactuca sativa*, tested by sandwich method

Donor plant	Status	Dry leaf weight(10ml agar ¹)			
		10mg		50mg	
		Radicle	Hypocotyl	Radicle	Hypocotyl
<i>Aster kantoensis</i> ^a	Rosette	47	73	21	50
<i>Bidens pilosa</i> ^b		74	104	36	75
<i>Erigeron sumatrensis</i> ^a	Rosette	31	79	16	48
<i>Erigeron canadensis</i> ^a	Rosette	57	85	54	100
<i>Oenothera biennis</i> ^b	Rosette	53	101	33	108
<i>Robinia pseudo-acacia</i> ^b		25	49	14	27
<i>Eragrostis curvula</i> ^b		72	109	32	93
Mowed ^a		-	-	28	105
<i>Festuca arundinacea</i> ^a		50	116	24	114
<i>Festuca arundinacea</i> ^b		63	114	25	108
<i>Festuca arundinacea</i> (Mowed) ^a		-	-	22	101
<i>Lolium multiflorum</i> ^b		67	110	29	95
Mowed ^a		-	-	23	91
<i>Setaria viridis</i> ^b	Flowering	75	103	28	77
Mowed ^a	Flowering	-	-	25	93
<i>Patrinia scabiosaefolia</i> ^c	Flowering	62	101	37	97
<i>Chrysanthemum boreale</i> ^c	Flowering	74	122	46	91
<i>Dianthus superbus</i> var. <i>longicalycinus</i> ^c	After flowering	-	-	48	91
<i>Aster ageratoides</i> ssp. <i>Ovatus</i> ^c	Flowering	-	-	33	64

Plants were tested after 1.5-2 month cultivation.

A. kantoensis was tested after 6-month cultivation.

a: Tested after plantbox method examination.

b: Tested before plantbox method examination.

c: Cultivated as garden plants.

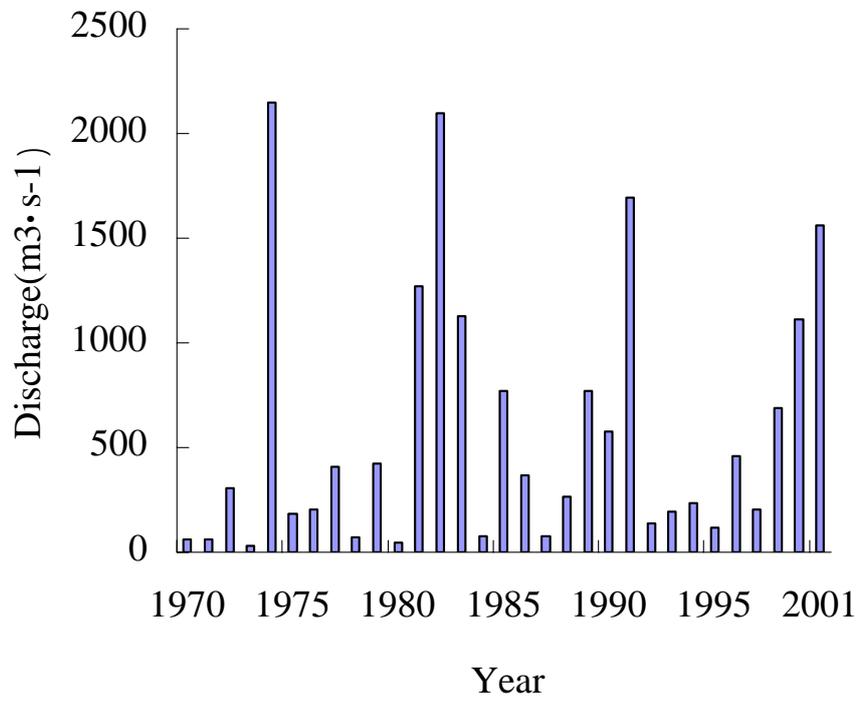


Fig.2-1. Maximum discharge data of Tama River at Chofubashi in 1970-2001.

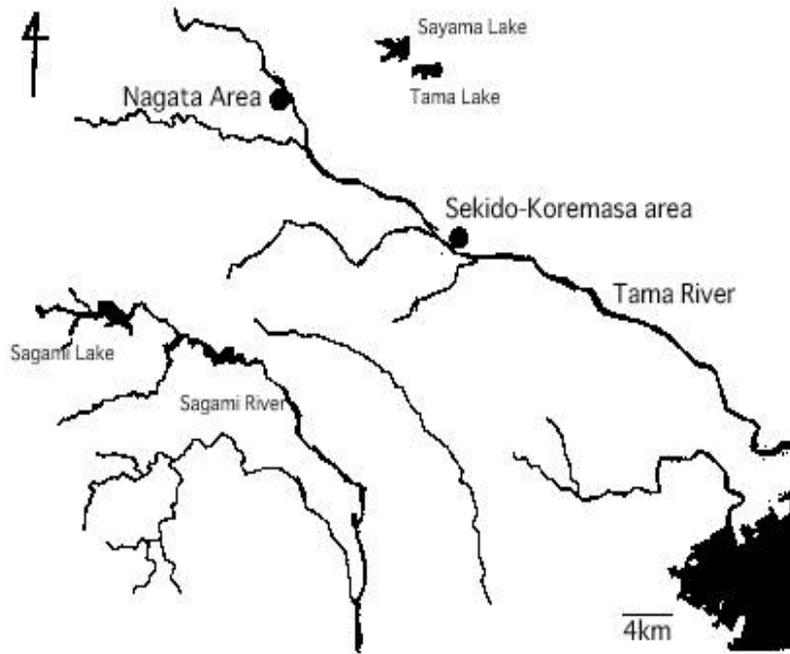


Fig. 2-2. A map of Tama River and locations of sampling area.

Table 3-1. Effect of dry leaf exudate from floodplain plants on the radicle and hypocotyl elongation of *Lactuca sativa*, tested by sandwich method

No.	Species	Dry leaf weight(10ml agar ¹)			
		10mg		50mg	
		Radicle	Hypocotyl	Radicle	Hypocotyl
50	<i>Lolium multiflorum</i> (litter)	-	-	10	32
2	<i>Ambrosia trifida</i>	63	112	13	67
60	<i>Sorghum halepense</i> (Sampled in oct.)	18	37	13	31
20	<i>Euphorbia maculata</i>	32	58	17	60
17	<i>Torilis japonica</i>	56	116	18	63
12	<i>Lactuca indica</i>	44	88	19	70
26	<i>Robinia pseudo-acacia</i>	39	92	19	67
29	<i>Vicia angustifolia var.segetalis</i>	44	117	20	90
25	<i>Pueraria lobata</i>	46	109	22	76
54	<i>Miscanthus sinensis</i>	79	113	22	69
39	<i>Sicyos angulatus</i>	50	109	24	74
11	<i>Erigeron sumatrensis</i>	53	101	24	62
18	<i>Oenothera biennis</i>	45	106	24	79
33	<i>Polygonum cuspidatum</i>	62	97	26	72
13	<i>Solidago altissima</i>	22	33	26	34
43	<i>Digitaria adscendens</i>	59	96	26	76
59	<i>Setaria viridis</i>	72	110	26	68
19	<i>Oenothera biennis</i>	48	99	27	88
63	<i>Equisetum ramosissimum</i>	47	89	27	76
58	<i>Setaria viridis f.misera</i>	33	77	28	80
23	<i>Kummerowia stipulacea</i>	44	98	29	78
28	<i>Trifolium repens</i>	67	125	29	87
41	<i>Agrostis alba</i>	74	123	29	84
40	<i>Salix integra</i>	69	103	29	88
35	<i>Rumex obtusifolius</i>	48	77	29	75
36	<i>Boehmeria nipononivea</i>	49	129	29	132
15	<i>Plantago lanceolata</i>	54	117	30	92
22	<i>Indigofera pseudo-tinctoria</i>	49	103	31	90
62	<i>Sorghum halepense Pers. f. muticum Hubb.</i>	47	113	32	83
21	<i>Euphorbia supina</i>	71	110	32	98
44	<i>Eleusine inidica</i>	70	130	32	103
32	<i>Rosa wichuraiana</i>	54	88	32	65
53	<i>Miscanthus sacchariflorus</i>	59	114	33	105
55	<i>Paspalum dilatatum</i>	85	112	39	89
27	<i>Trifolium pratense</i>	68	118	39	93
31	<i>Potentilla chinensis</i>	83	118	39	104
5	<i>Artemisia princeps</i>	85	103	39	64
38	<i>Sedum sarmentosum</i>	71	113	40	103
16	<i>Verbascum thapsus</i>	92	126	41	106
56	<i>Phragmites japonica</i>	62	97	41	92
47	<i>Festuca arundinacea</i>	67	113	42	107
4	<i>Artemisia japonica</i>	71	116	42	93
9	<i>Erigeron annuus</i>	81	102	43	104
57	<i>Phragmites japonica</i>	78	108	45	96
52	<i>Miscanthus sacchariflorus</i>	81	105	45	104
10	<i>Erigeron canadensis</i>	96	121	46	103
48	<i>Festuca arundinacea</i>	63	106	46	107
8	<i>Bidens pilosa</i>	69	96	46	98
46	<i>Eragrostis curvula</i>	95	140	46	114
51	<i>Lolium multiflorum</i>	95	141	46	121
1	<i>Ambrosia artemisiaefolia var.elatior</i>	57	103	47	104
61	<i>Sorghum halepense</i>	86	140	47	117
6	<i>Aster subulatus var.obtusifolius</i>	76	90	49	72
24	<i>Lespedeza cuneata</i>	66	113	50	110
37	<i>Boehmeria spicata</i>	103	124	52	124
30	<i>Potentilla nipponica</i>	88	118	52	110
3	<i>Artemisia capillaris</i>	80	88	55	80
7	<i>Bidens frondosa</i>	71	97	56	106
42	<i>Bromus catharticus</i>	96	127	57	123
14	<i>Plantago asiatica</i>	73	127	58	105
34	<i>Polygonum lapathifolium</i>	102	125	60	105
49	<i>Imperata cylindrica var.koenigii</i>	80	87	64	100
45	<i>Eragrostis curvula</i>	85	100	66	110
Mean ± SD		66±19	106±21	36±13	89±22

Values are expressed as % against the control.

Table 3-2. Radicle and hypocotyl elongation of lettuce grown on agar gel containing dry leaves of lianas sampled from the Nagata District of the Tama River, tested by Sandwich method. Values are expressed as percentage of each length of the control

species	Japanese name	n	Dry leaf weight(10ml agar-1)			
			10mg		50mg	
			Radicle	Hypocotyl	Radicle	Hypocotyl
<i>Chlematis terniflora</i>	センニンソウ	1	75	115	16	41
<i>Glycine soja</i>	ツルマメ	1	38	77	18	64
<i>Sicyos angulatus</i>	アレチウリ	7	62 • }16	106 • }11	26 • }9	86 • }11
<i>Metaplexis japonica</i>	ガガイモ	3	50 • }15	110 • }29	26 • }7	73 • }49
<i>Cayratia japonicus</i>	ヤブガラシ	6	71 • }10	114 • }10	26 • }10	86 • }19
<i>Pueraria lobata</i>	クズ	4	55 • }15	89 • }8	29 • }8	80 • }13
<i>Humulus japonicus</i>	カナムグラ	5	68 • }13	101 • }6	30 • }8	93 • }14
<i>Amphicarpaea edgeworthii var. japonica</i>	ヤブマメ	1	66	101	33	86
<i>Ampelopsis glandulosa var. heterophylla</i>	ノブドウ	1	63	87	37	77
<i>Calystegia japonica</i>	ヒルガオ	1	60	91	37	75
<i>Dioscorea japonica</i>	ヤマノイモ	1	66	96	38	92
<i>Cocculus orbiculatus</i>	アオツヅラフジ	4	68 • }7	92 • }8	41 • }15	88 • }7
<i>Paederia scandens var. mairei</i>	ヘクソカズラ	1	77	104	49	118
<i>Cuscuta japonica</i>	ネナシカズラ	1	97	108	68	90
Mean±SD		37	64 • }14	101 • }14	31 • }12	84 • }19

Table 3-3. Comparison of allelopathic potential of floodplain plants by family

Family	<i>n</i>	Dry leaf weight(10ml agar ⁻¹)			
		10mg		50mg	
		Radicle	Hypocotyl	Radicle	Hypocotyl
COMPOSITAE	13	67 • 19	96 • 22	39 • 14	81 • 22
GRAMINEAE	22	68 • 16	105 • 16	37 • 13	91 • 15
LEGUMINOSAE	8	53 • 12	109 • 11	30 • 10	86 • 13
Others	20	65 • 20	107 • 19	34 • 13	91 • 20
Mean	63	66 • 19	106 • 21	36 • 13	89 • 22

Values are expressed as % against the control.

Table 3-4. Comparison of allelopathic potential of floodplain plants between native and naturalized plants

Classification	<i>n</i>	Dry leaf weight(10ml agar ⁻¹)			
		10mg		50mg	
		Radicle	Hypocotyl	Radicle	Hypocotyl
Native	30	66 • 18	107 • 14	37 • 14	90 • 19
COMPOSITAE	4	70 • 18	99 • 13	39 • 15	77 • 13
GRAMINEAE	9	67 • 16	107 • 15	34 • 9	90 • 15
LEGUMINOSAE	5	50 • 9	108 • 8	30 • 12	89 • 13
Others	12	71 • 19	112 • 15	39 • 14	96 • 23
Naturalized	33	65 • 21	104 • 25	35 • 13	87 • 24
COMPOSITAE	9	65 • 21	95 • 25	39 • 14	83 • 26
GRAMINEAE	13	72 • 24	112 • 28	38 • 16	92 • 31
LEGUMINOSAE	3	58 • 16	112 • 17	29 • 10	82 • 14
Others	8	57 • 19	100 • 22	29 • 8	86 • 16

Values are expressed as % against the control.

Table 3-5. Allelopathic activity :Radicle and hypocotyl elongation of lettuce grown on agar gel containing dry leaves of floodplain plants from the Nagata District of the Tama River, tested by Sandwich method . Values are expressed as percentage of each length of the control

species	Japanese name	Family	n	Dry leaf weight(10ml agar-1)			
				10mg		50mg	
				Radicle	Hypocotyl	Radicle	Hypocotyl
<i>Chenopodium album</i>	シロザ	アカザ科	4	67・}18	101・}7	32・}11	79・}7
<i>Chenopodium ambrosioides</i>	ケアリタソウ	アカザ科	1	70	84	51	78
<i>Paederoa scandens var. mairei</i>	ヘクソカズラ	アカネ科	1	77	104	49	118
<i>Galium spurium var. echinospermon</i>	ヤエムグラ	アカネ科	1	NA	NA	65	89
<i>Oenothera biennis</i>	メマツヨイグサ	アカバナ科	5	62・}8	112・}18	34・}10	101・}13
<i>Setaria viridis var. viridis f. japonica</i>	カタバエノコロ	イネ科	2	55	81	26	60・}
<i>Lolium multiflorum</i>	ネズミムギ	イネ科	1	54	150	27	121
<i>Festuca arundinacea</i>	オニウシノケグサ	イネ科	5	60・}16	103・}25	32・}12	92・}23
<i>Agropyron tsukushiense var. transiens</i>	カモジグサ	イネ科	2	57	103	33	94
<i>Poa sphondylodes</i>	イチゴツナギ	イネ科	2	55	72	34	72
<i>Setaria viridis</i>	エノコログサ	イネ科	3	65・}11	108・}5	35・}9	86・}9
<i>Eragrostis curvula</i>	シナダレスズメガヤ	イネ科	3	57・}8	80・}7	41・}11	78・}6
<i>Andropogon virginicus</i>	メリケンカルカヤ	イネ科	3	70・}22	105・}4	44・}20	101・}18
<i>Zoysia japonica</i>	シバ	イネ科	2	66	121	46	109
<i>Imperata cylindrica var. koenigii</i>	チガヤ	イネ科	4	73・}13	104・}2	47・}14	101・}5
<i>Miscanthus sacchariflorus</i>	オギ	イネ科	5	66・}12	80・}9	51・}11	78・}5
<i>Miscanthus sinensis</i>	ススキ	イネ科	4	72・}13	87・}19	54・}10	80・}15
<i>Poa acroleuca</i>	ミゾイチゴツナギ	イネ科	1	62	75	55	64
<i>Sicyos angulatus</i>	アレチウリ	ウリ科	7	61・}17	109・}11	25・}9	88・}11
<i>Metaplexis japonica</i>	ガガイモ	ガガイモ科	3	50・}15	110・}29	26・}7	73・}49
<i>Ambrosia artemisiaefolia var. elatior</i>	ブタクサ	キク科	1	60	149	27	118
<i>Artemisia princeps</i>	ヨモギ	キク科	4	64・}17	109・}6	35・}14	86・}8
<i>Ambrosia trifida</i>	オオブタクサ	キク科	4	65・}19	101・}5	36・}11	87・}21
<i>Bidens pilosa</i>	コセンダングサ	キク科	4	73・}17	108・}13	37・}5	85・}14
<i>Erigeron philadelphicus</i>	ハルジオン	キク科	2	68	113	38	101
<i>Erigeron annuus</i>	ヒメジョオン	キク科	3	67・}24	124・}20	42・}24	116・}35
<i>Erigeron sumatrensis</i>	オオアレチノギク	キク科	3	80・}6	104・}21	50・}4	95・}5
<i>Erigeron canadensis</i>	ヒメムカシヨモギ	キク科	3	83・}12	111・}20	51・}5	100・}13
<i>Helianthus tuberosus</i>	クワイモ	キク科	4	84・}13	114・}8	51・}21	103・}5
<i>Solidago altissima</i>	セイタカアワダチソウ	キク科	4	81・}10	106・}33	53・}13	90・}17
<i>Gnaphalium affine</i>	ハハコグサ	キク科	1	NA	NA	54	108
<i>Aster ageratoides var. ovatus</i>	ノコンギク	キク科	1	87	103	59	85
<i>Artemisia capillaris</i>	カワラヨモギ	キク科	3	91・}22	89・}9	61・}24	72・}8
<i>Ranunculus cantoniensis</i>	ケキツネノボタン	キンポウゲ科	1	39	100	4	18
<i>Chlematis terniflora</i>	センニンソウ	キンポウゲ科	1	75	115	16	41
<i>Ranunculus sceleratus</i>	タガラシ	キンポウゲ科	1	67	119	21	78
<i>Delphinium ajacis</i>	セリバヒエンソウ	キンポウゲ科	1	48	105	41	99
<i>Humulus japonicus</i>	カナムグラ	クワ科	5	68・}13	101・}6	30・}8	93・}14
<i>Chelidonium majus var. asiaticum</i>	クサノオウ	ケシ科	2	50	96	29	66
<i>Lamium purpureum</i>	ヒメオドリコソウ	シソ科	1	60	93	35	86
<i>Glechoma hederacea var. granis</i>	カキドオシ	シソ科	2	68	92	47	81
<i>Torilis japonica</i>	ヤブジラミ	セリ科	2	68	115	41	100
<i>Torilis scabra</i>	オヤブジラミ	セリ科	1	55	99	47	107
<i>Polygonum japonica</i>	イタドリ	タデ科	6	59・}12	95・}16	36・}17	81・}18
<i>Cocculus orbiculatus</i>	アオツツラフジ	ツツラフジ科	4	68・}7	92・}8	41・}15	88・}7
<i>Saponaria officinalis</i>	サボンソウ	ナデシコ科	3	79・}8	83・}23	45・}10	68・}17
<i>Arenaria serpyllifolia</i>	ノミノツツリ	ナデシコ科	1	67	93	46	80
<i>Duchesnea chrysantha</i>	ヘビイチゴ	バラ科	1	64	104	48	100
<i>Achyranthes japonica</i>	イノコズチ	ヒユ科	1	54	102	29	78
<i>Calystegia japonica</i>	ヒルガオ	ヒルガオ科	1	60	91	37	75
<i>Cuscuta japonica</i>	ネナシカズラ	ヒルガオ科	1	97	108	68	90
<i>Cayratia japonicus</i>	ヤブガラシ	ブドウ科	6	71・}10	114・}10	26・}10	86・}19
<i>Ampelopsis glandulosa var. heterophylla</i>	ノブドウ	ブドウ科	1	63	87	37	77
<i>Glycine soja</i>	ツルマメ	マメ科	1	38	77	18	64
<i>Robinia pseudo-acacia</i>	ニセアカシア	マメ科	5	50・}20	94・}24	24・}8	76・}17
<i>Pueraria lobata</i>	クズ	マメ科	5	55・}15	89・}8	29・}8	80・}13
<i>Amphicarpaea edgeworthii var. japonica</i>	ヤブマメ	マメ科	1	66	101	33	86
<i>Dioscorea japonica</i>	ヤマノイモ	ヤマノイモ科	1	66	96	38	92

Table 3-6. Allelopathic activity :Radicle and hypocotyl elongation of lettuce grown on agar gel containing dry leaves of floodplain plants collected from the Nagata District of the Tama River, tested by Sandwich method . Values are expressed as percentage of each length of the control

species	Japanese name	Family	n	Dry leaf weight(10ml agar-1)			
				10mg		50mg	
				Radicle	Hypocotyl	Radicle	Hypocotyl
<i>Chenopodium ambrosioides</i>	ケアリタソウ	アカザ科	1	70	84	51	78
<i>Oenothera biennis</i>	メマツヨイグサ	アカバナ科	5	62 • }8	112 • }18	34 • }10	101 • }13
<i>Agropyron tsukushiense var. transiens</i>	カモジグサ	イネ科	2	57	103	33	94
<i>Andropogon virginicus</i>	メリケンカルカヤ	イネ科	3	70 • }22	105 • }4	44 • }20	101 • }18
<i>Eragrostis curvula</i>	シナダレスズメガヤ	イネ科	3	57 • }8	80 • }7	41 • }11	78 • }6
<i>Festuca arundinacea</i>	オニウシノケグサ	イネ科	5	60 • }16	103 • }25	32 • }12	92 • }23
<i>Lolium multiflorum</i>	ネズミムギ	イネ科	1	54	150	27	121
<i>Sicyos angulatus</i>	アレチウリ	ウリ科	7	61 • }17	109 • }11	25 • }9	88 • }11
<i>Ambrosia artemisiaefolia var. elatior</i>	ブタクサ	キク科	1	60	149	27	118
<i>Ambrosia trifida</i>	オオブタクサ	キク科	4	65 • }19	101 • }5	36 • }11	87 • }21
<i>Bidens pilosa</i>	コセンダングサ	キク科	4	73 • }17	108 • }13	37 • }5	85 • }14
<i>Erigeron annuus</i>	ヒメジョオン	キク科	3	67 • }24	124 • }20	42 • }24	116 • }35
<i>Erigeron canadensis</i>	ヒメムカシヨモギ	キク科	3	83 • }12	111 • }20	51 • }5	100 • }13
<i>Erigeron philadelphicus</i>	ハルジオン	キク科	2	68	113	38	101
<i>Erigeron sumatrensis</i>	オオアレチノギク	キク科	3	80 • }6	104 • }21	50 • }4	95 • }5
<i>Helianthus tuberosus</i>	キクイモ	キク科	4	84 • }13	114 • }8	51 • }21	103 • }5
<i>Solidago altissima</i>	セイタカアワダチソウ	キク科	4	81 • }10	106 • }33	53 • }13	90 • }17
<i>Delphinium anthriscifolium</i>	セリバヒエンソウ	キンポウゲ科	1	48	105	41	99
<i>Lamium purpureum</i>	ヒメオドリコソウ	シソ科	1	60	93	35	86
<i>Saponaria officinalis</i>	サボンソウ	ナデシコ科	3	79 • }8	83 • }23	45 • }10	68 • }17
<i>Cuscuta japonica</i>	ネナシカズラ	ヒルガオ科	1	97	108	68	90
<i>Robinia pseudo-acacia</i>	ニセアカシア	マメ科	5	50 • }20	94 • }24	24 • }8	76 • }17

Table 3-7. Radicle and hypocotyl elongation of lettuce grown on agar gel containing dry leaves of lianas sampled from the Nagata District of the Tama River, tested by Sandwich method. Values are expressed as percentage of each length of the control

species	Japanese name	n	Dry leaf weight(10ml agar-1)			
			10mg		50mg	
			Radicle	Hypocotyl	Radicle	Hypocotyl
<i>Chlematis terniflora</i>	センニンソウ	1	75	115	16	41
<i>Glycine soja</i>	ツルマメ	1	38	77	18	64
<i>Sicyos angulatus</i>	アレチウリ	7	62 • }16	106 • }11	26 • }9	86 • }11
<i>Metaplexis japonica</i>	ガガイモ	3	50 • }15	110 • }29	26 • }7	73 • }49
<i>Cayratia japonicus</i>	ヤブガラシ	6	71 • }10	114 • }10	26 • }10	86 • }19
<i>Pueraria lobata</i>	クズ	4	55 • }15	89 • }8	29 • }8	80 • }13
<i>Humulus japonicus</i>	カナムグラ	5	68 • }13	101 • }6	30 • }8	93 • }14
<i>Amphicarpaea edgeworthii</i> var. <i>japonica</i>	ヤブマメ	1	66	101	33	86
<i>Ampelopsis glandulosa</i> var. <i>heterophylla</i>	ノブドウ	1	63	87	37	77
<i>Calystegia japonica</i>	ヒルガオ	1	60	91	37	75
<i>Dioscorea japonica</i>	ヤマノイモ	1	66	96	38	92
<i>Cocculus orbiculatus</i>	アオツツラフジ	4	68 • }7	92 • }8	41 • }15	88 • }7
<i>Paederia scandens</i> var. <i>mairei</i>	ヘクソカズラ	1	77	104	49	118
<i>Cuscuta japonica</i>	ネナシカズラ	1	97	108	68	90
Mean±SD		37	64 • }14	101 • }14	31 • }12	84 • }19

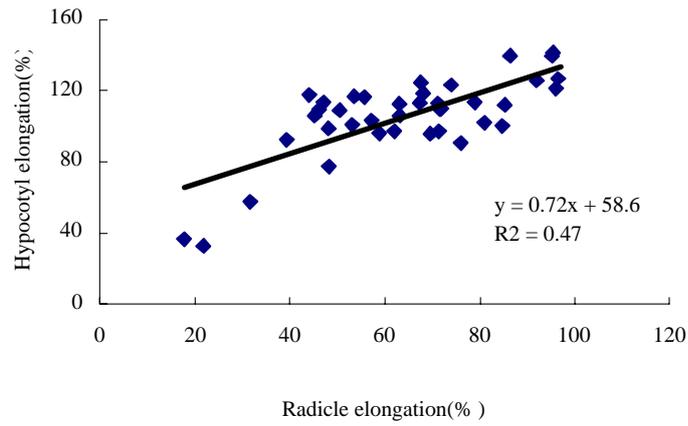


Fig.3-1. Distribution of radicle and hypocotyl elongation (% against control) affected by 10mg dry leaf of floodplain plants.

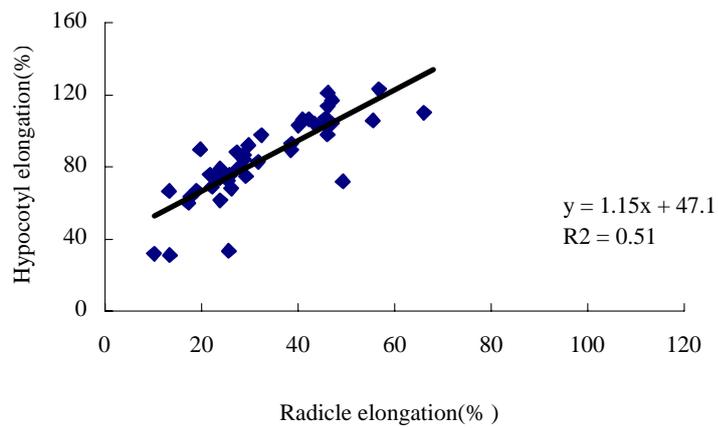


Fig.3-2. Distribution of radicle and hypocotyl elongation (% against control) affected by 50mg dry leaf of floodplain plants.

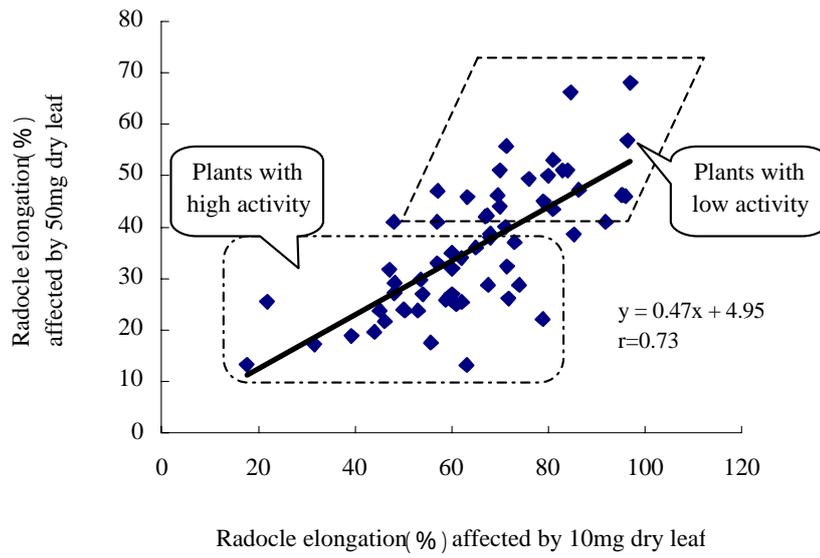


Fig. 3-3. Relationship between the allelopathic activity of 10mg and 50mg dry leaf of floodplain plants on radicle elongation (% against control) of *Lactuca sativa*.

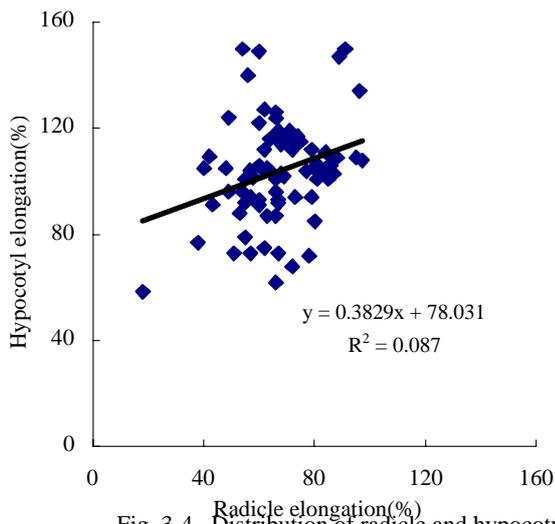


Fig. 3-4. Distribution of radicle and hypocotyl elongation affected by 10mg dry leaf of floodplair plants.

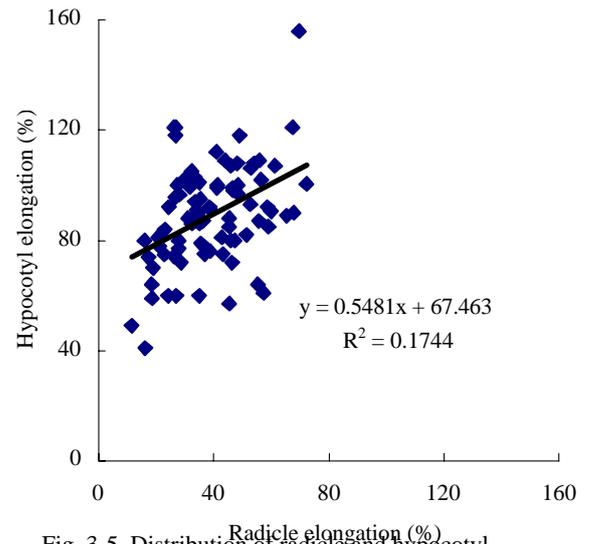


Fig. 3-5. Distribution of radicle and hypocotyl elongation affected by 50mg dry leaf of floodplair plants.

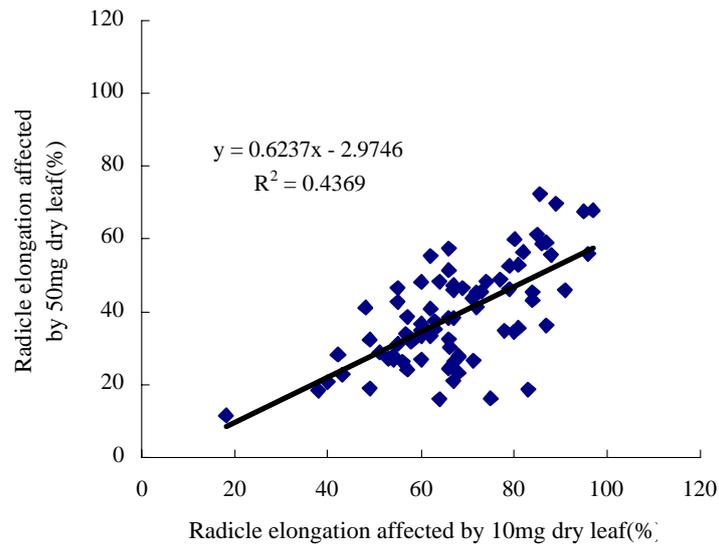


Fig. 3-6. Distribution of radicle elongation affected by dry leaf of floodplain plants.

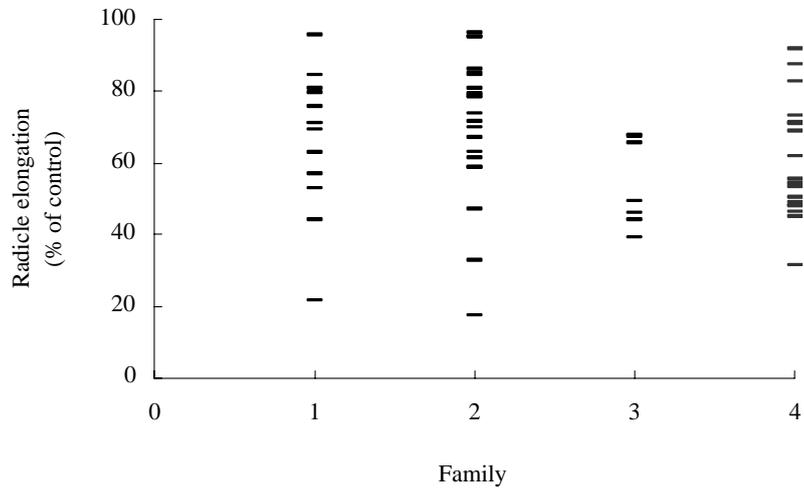


Fig. 3-7. Radicle elongation of *Lactuca sativa* on agar gel containing 50mg dry leaf of floodplain plants (1. Compositae, 2. Gramineae, 3. Leguminosae, 4. Other family).

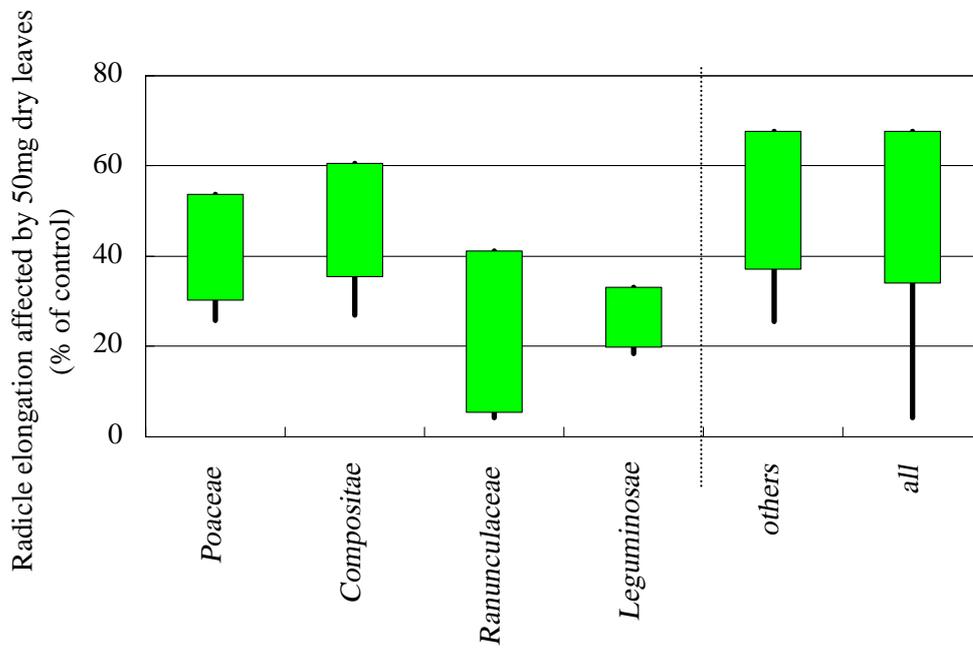


Fig. 3-8. Allelopathic activity of several major families.

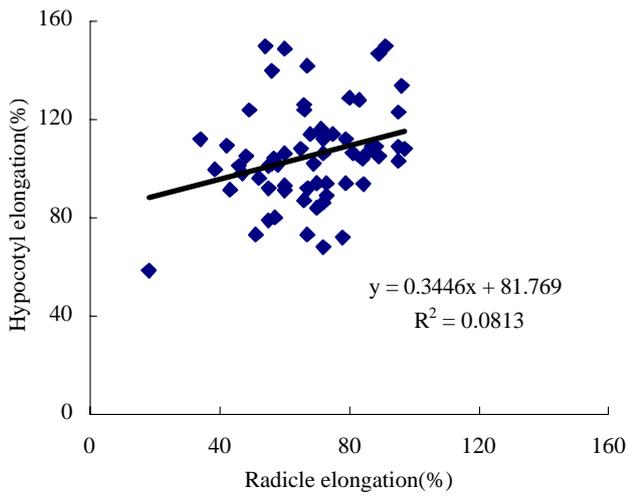


Fig. 3-9. Distribution of radicle and hypocotyl elongation affected by 10mg dry leaf of alian plants.

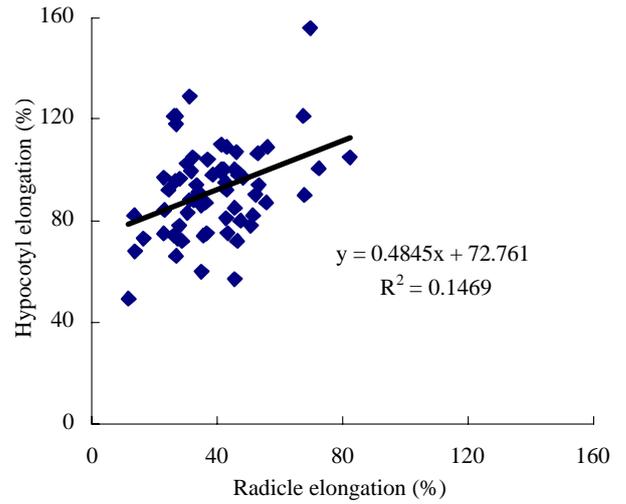


Fig. 3-10. Distribution of radicle and hypocotyl elongation affected by 50mg dry leaf of alian plants.

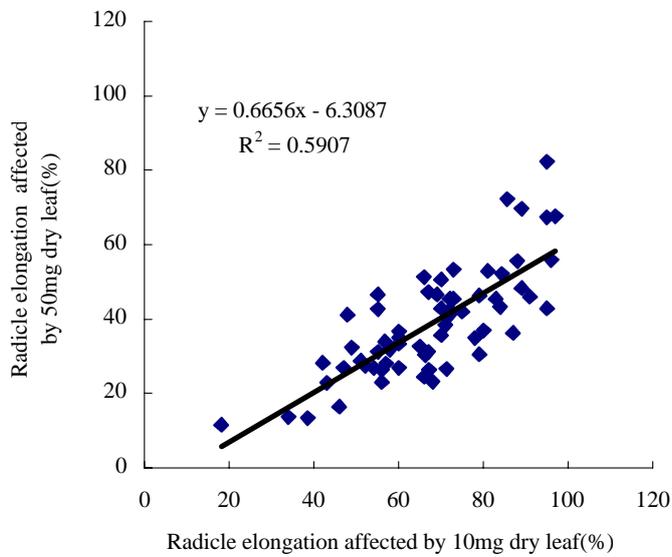


Fig. 3-11. Distribution of radicle elongation affected by dry leaf of alian plants.

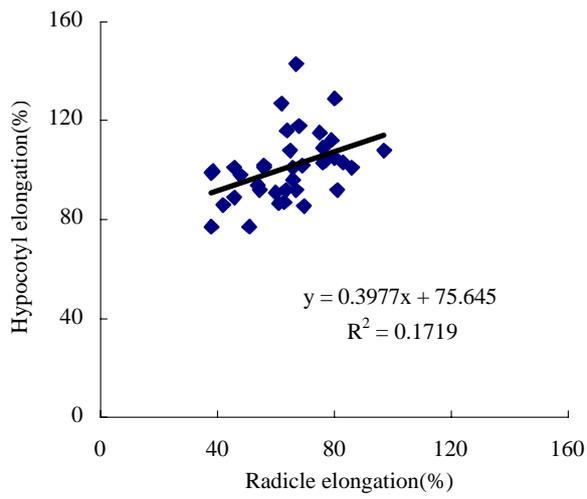


Fig. 3-12. Distribution of radicle and hypocotyl elongation affected by 10mg dry leaf of lianas.

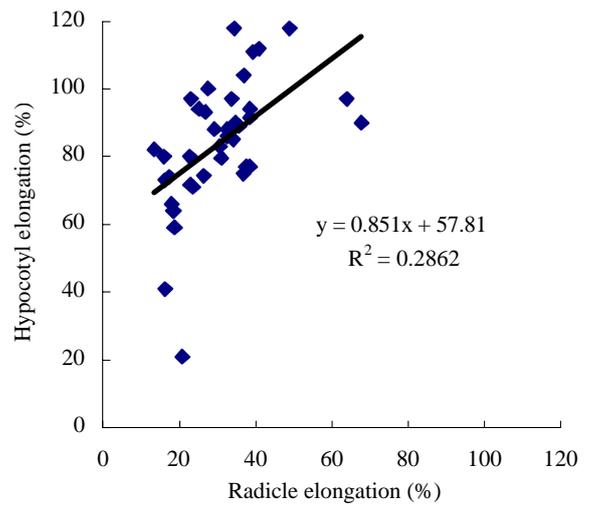


Fig. 3-13. Distribution of radicle and hypocotyl elongation affected by 50mg dry leaf of lianas.

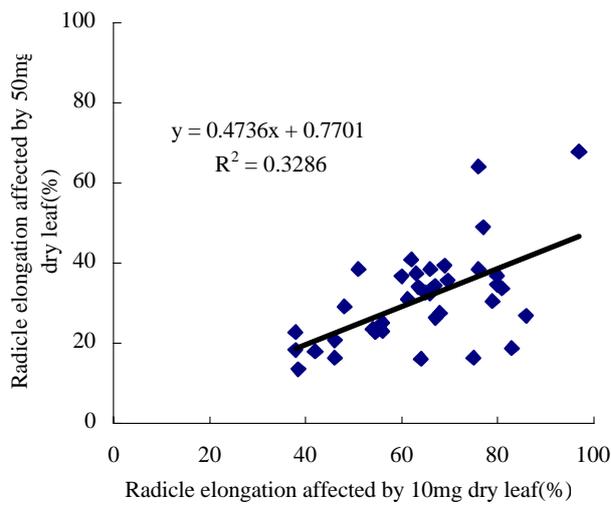


Fig. 3-14. Distribution of radicle elongation affected by dry leaf of lianas.

Table 4-1. Characteristics of floodplain soils sampled from midstream of Tama River

Sample	Soil type	Soil texture	Soil color(Wet)		Soil color(Dry)	
T-1	Regosol	Loamy-Sand	2.5Y/3/2	brownish black	2.5Y/6/2	grayish yellow
T-2	Regosol	Sandy-Loam	2.5Y/4/2	dark graysh yellow	2.5Y/6/3	dull yellow
T-3	Gray lowland soil	Loam	2.5Y/3/3	dark olive brown	2.5Y/5/2	dark grayish yellow
T-1-8	Regosol	Sand	2.5Y/3/1	brownish black	2.5Y/6/1	yellowish gray
T-2-8	Regosol	Silt	2.5Y/3/2	brownish black	2.5Y/6/1	yellowish gray
T-3-8	Regosol	Silty-Loam	2.5Y/3/2	brownish black	2.5Y/6/2	grayish yellow
T-1-9	Lithosol	-	2.5Y/5.5/5	yellowish brown	2.5Y/7/3	light yellow
T-2-9	Regosol	Silty-Sand	2.5Y/3/2	brownish black	2.5Y/6/2	grayish yellow
T-3-9	Regosol	Silty-Sand	2.5Y/3/1	brownish black	2.5Y/6/1	yellowish gray
K-1	Regosol	Silt-Loam	2.5Y/3/3	dark olive brown	2.5Y/6/3	dull yellow
K-2	Regosol	Loamy-Sand	2.5Y/3/2	brownish black	2.5Y/6/2	grayish yellow
K-3	Low layer of trass	Loam	10YR/3/4		10YR5/4	
K-4	Gray lowland soil	Loam	2.5Y/3/2	brownish black	2.5Y/4/2	dark grayish yellow
S-1	Gray lowland soil	Loam	2.5Y/2/1	black	2.5Y/5/2	dark grayish yellow
S-2	Brown lowland soil	Loam	2.5Y/3/2	brownish black	2.5Y/4/3	olive brown
S-3	Gray lowland soil	Sandy-Loam	2.5Y/2/1	black	2.5Y/5/2	dark grayish yellow

Table 4-2. Chemical characteristics of floodplain soils from midstream of Tama River

Sample	pH	Eh (mV)	EC (dS·m ⁻¹)	Water soluble anion (ppm)						Water soluble cation (ppm)				
				NO ₃ ⁻ -N	NO ₂ ⁻ -N	HPO ₄ ⁻ -P	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻ -S	NH ₄ ⁺ -N	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	
T-1	8.9 • }0.08	450 • }16	5.5 • }0.4	1.5 • } 0.2	0.5	3.0	0.72 • } 0.05	1.5	0.44 • }0.10	21.4 • }9.9	1.94 • }0.24	3.20 • }0.69	1.44 • }0.42	
T-2	8.4 • }0.26	463 • }9	7.6 • }0.5	1.7 • } 0.6	0.5	3.7 • } 0.6	0.81 • } 0.14	1.5	0.36 • }0.08	31.6 • }1.2	0.98 • }0.19	2.84 • }0.30	1.52 • }0.59	
T-3	8.1 • }0.02	495 • }22	12.8 • }1.1	27.2 • } 2.0	0.5	6.2 • } 1.9	1.42 • } 0.24	2.8 • } 0.34	0.73 • }0.18	47.9 • }4.7	1.07 • }0.10	2.70 • }0.22	4.06 • }2.05	
T-1-8	8.3 • }0.12	448 • }7	7.3 • }1.0	0.5	0.5	3.0	0.38 • } 0.13	1.5	0.26 • }0.02	24.8 • }2.5	0.80 • }0.07	3.49 • }0.53	1.13 • }0.27	
T-2-8	7.6 • }0.10	218 • }51	16.2 • }1.1	0.5	0.5	8.4 • } 3.4	0.59 • } 0.17	6.6 • } 0.35	0.64 • }0.15	40.8 • }6.5	1.11 • }0.25	3.02 • }0.14	1.61 • }0.12	
T-3-8	8.2 • }0.02	439 • }10	9.5 • }0.8	7.1 • } 4.7	0.5	5.6 • } 2.1	0.29 • } 0.08	1.9 • } 0.31	0.56 • }0.16	35.2 • }3.6	0.69 • }0.05	2.18 • }0.10	5.51 • }0.18	
T-1-9	7.7 • }0.05	513 • }14	4.8 • }0.6	0.5	0.5	3.0	0.49 • } 0.12	1.0	0.39 • }0.11	14.3 • }1.0	1.01 • }0.01	3.44 • }0.34	0.54 • }0.31	
T-2-9	8.0 • }0.21	314 • }50	14.7 • }3.1	0.5	0.5	4.2 • } 1.7	1.07 • } 0.20	3.7 • } 1.03	0.46 • }0.21	33.0 • }4.5	0.90 • }0.09	2.50 • }0.37	1.13 • }0.06	
T-3-9	8.1 • }0.05	462 • }10	10.9 • }1.2	1.0	0.5	3.0	0.25	2.7 • } 0.48	0.54 • }0.08	28.5 • }3.0	0.72 • }0.06	2.66 • }0.17	3.73 • }3.42	
K-1	6.6 • }0.40	502 • }22	5.5 • }1.5	0.5	0.5	5.5 • } 0.6	1.17 • } 1.16	1.5	0.33 • }0.05	25.4 • }3.8	1.65 • }1.50	3.24 • }0.98	0.94 • }0.32	
K-2	7.2 • }0.17	554 • }13	8.5 • }2.4	12.6 • } 13.6	0.5	5.5 • } 1.7	0.30 • } 0.06	8.1 • } 8.85	0.62 • }0.28	17.9 • }4.0	1.18 • }0.51	6.89 • }2.27	2.06 • }1.09	
K-3	6.4 • }0.08	490 • }33	4.1 • }2.2	15.1 • } 17.5	0.5	21.7 • } 9.9	2.06 • } 0.30	8.9 • } 1.21	1.33 • }0.55	22.5 • }11.0	1.81 • }1.10	3.33 • }1.33	13.92 • }8.40	
K-4	6.3 • }0.06	561 • }27	11.8 • }3.7	11.1 • } 6.1	0.5	12.6 • } 4.0	0.68 • } 0.23	3.1 • } 1.85	0.90 • }0.24	25.1 • }2.9	1.29 • }0.43	2.37 • }0.14	5.49 • }2.05	
S-1	7.3 • }0.14	539 • }16	13.3 • }2.3	2.2 • } 1.5	0.5	9.4 • } 1.2	1.34 • } 0.27	2.7 • } 0.93	0.90 • }0.09	32.2 • }9.4	1.73 • }0.18	2.69 • }0.09	2.72 • }0.55	
S-2	6.0 • }0.03	557 • }2	2.9 • }1.0	7.5 • } 2.9	0.5	5.4 • } 1.0	0.75 • } 0.22	2.7 • } 0.93	1.81 • }0.48	22.8 • }5.5	1.55 • }0.79	2.78 • }0.52	6.21 • }2.24	
S-3	7.0 • }0.15	537 • }14	15.1 • }2.5	5.3 • } 3.5	0.5	10.9 • } 1.0	1.29 • } 0.74	3.5 • } 0.73	1.06 • }0.12	49.7 • }5.3	1.96 • }0.09	3.27 • }0.61	7.50 • }1.76	

Values are means of 3 replications with SD.

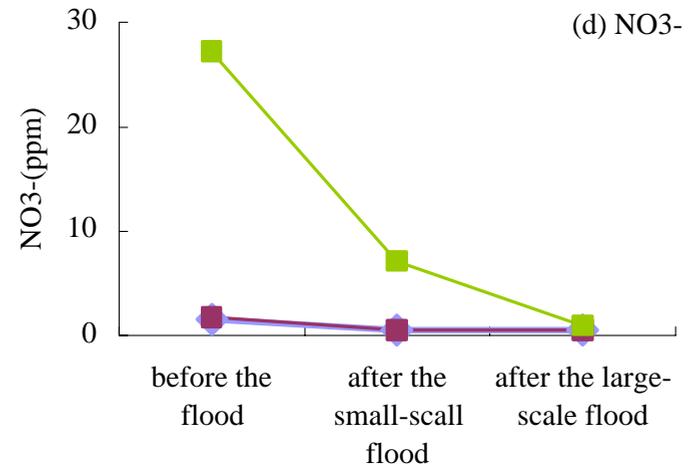
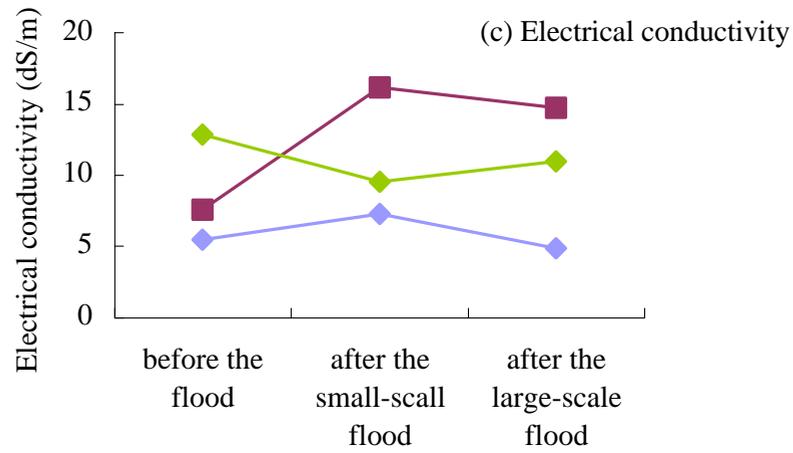
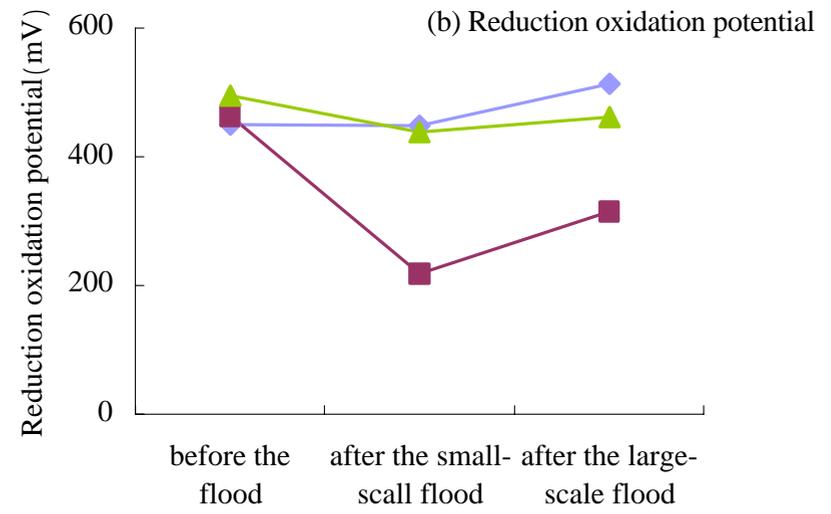
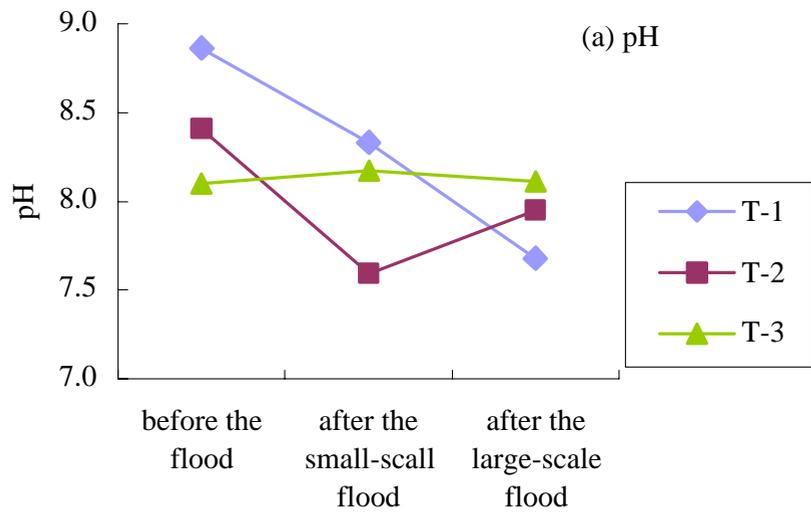


Fig. 4-1. Effects of floods on chemical properties of the floodplain soils from Nagata area, Tama River. (a) - (d)

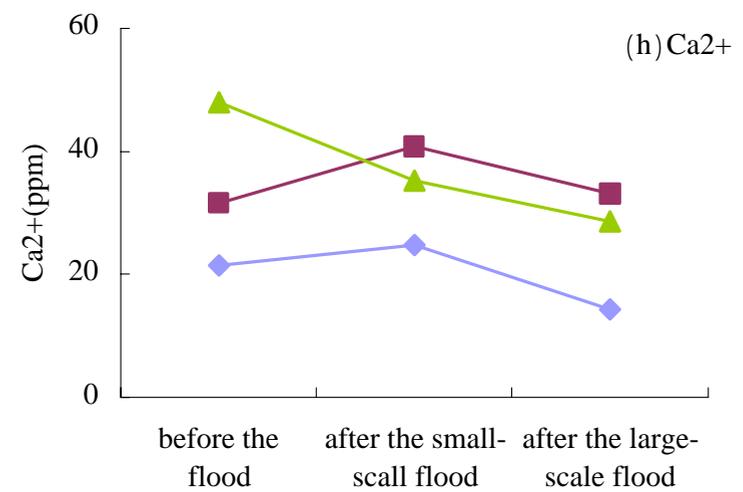
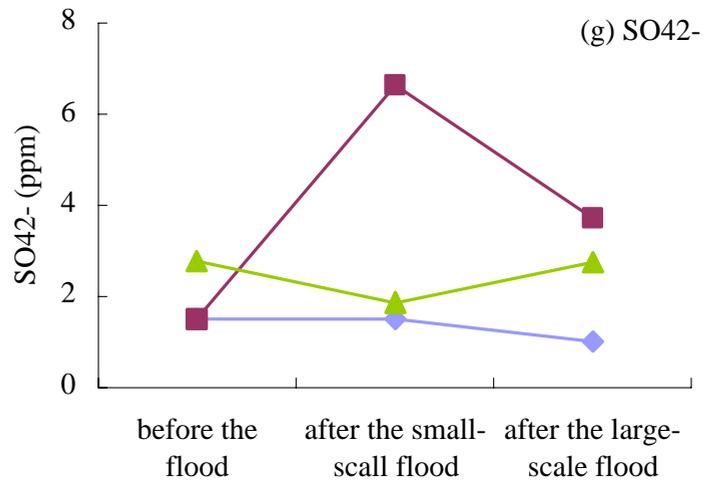
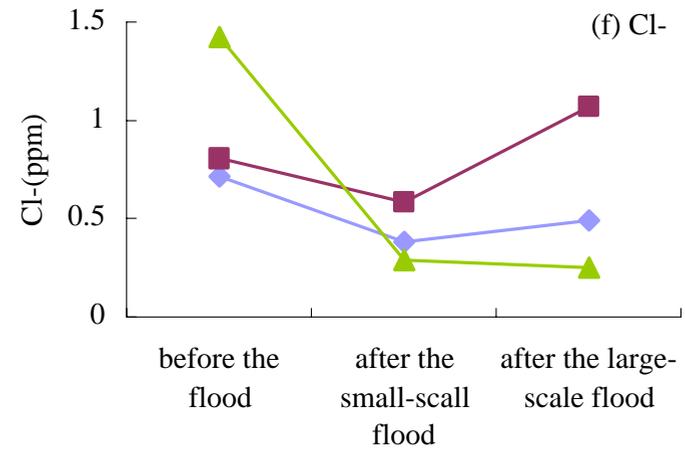
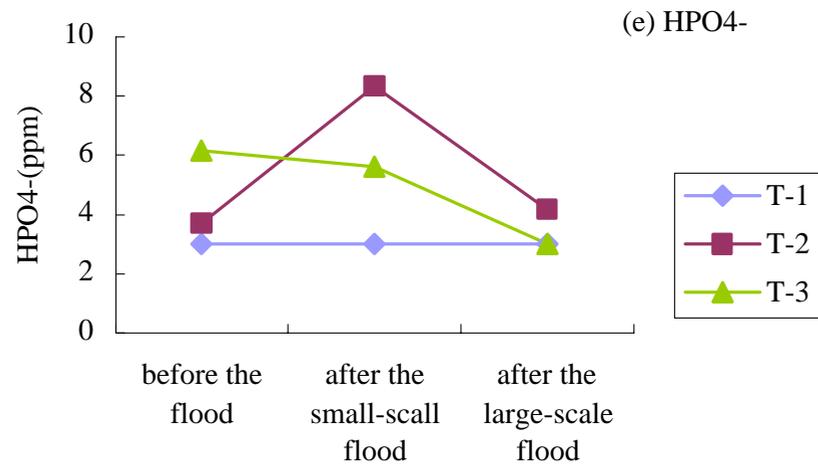


Fig. 4-1. continued: (e) - (h)

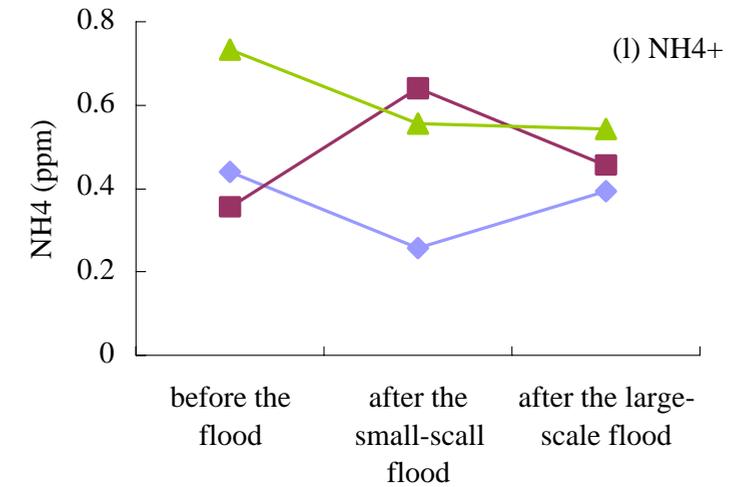
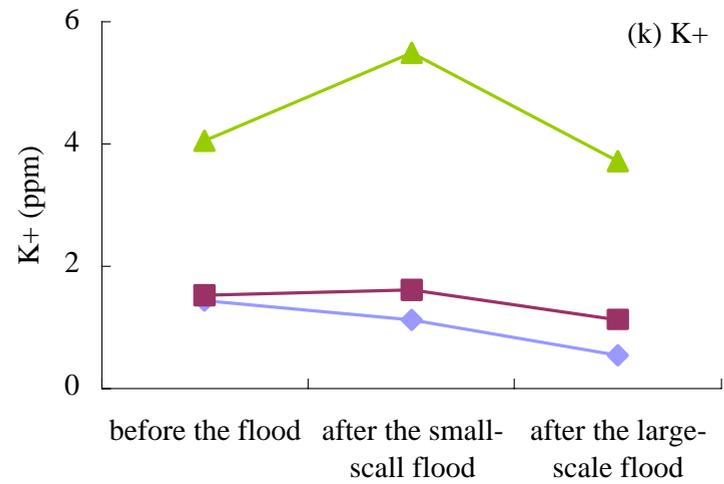
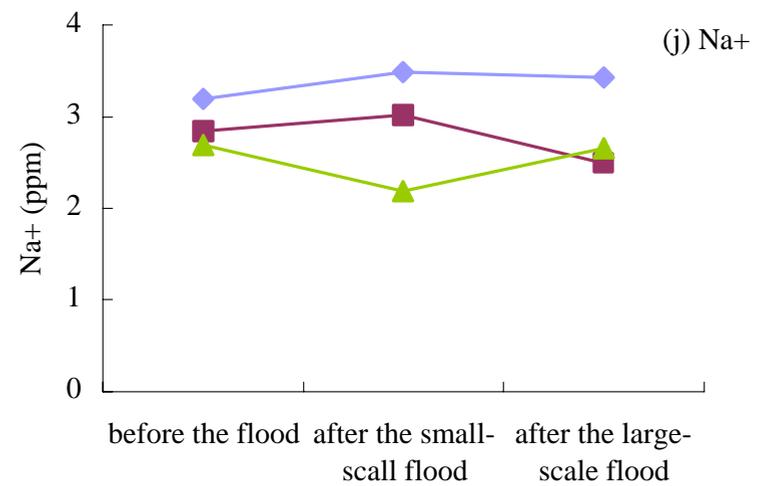
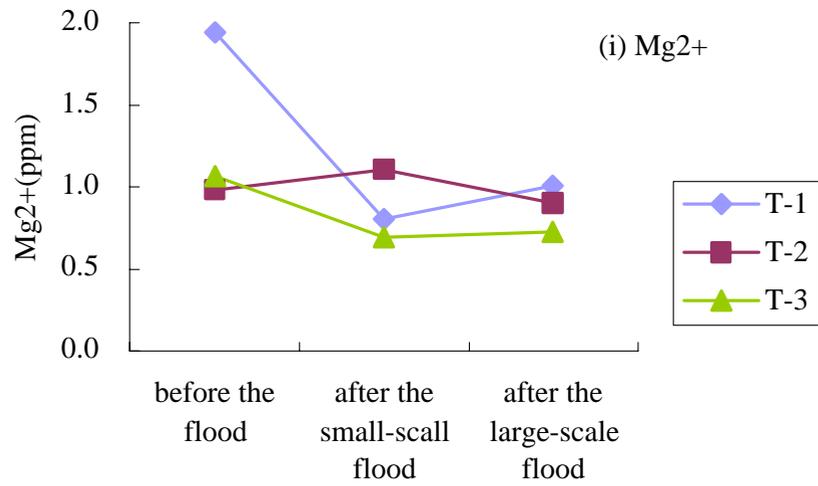


Fig. 4-1. continued: (i) -(l)

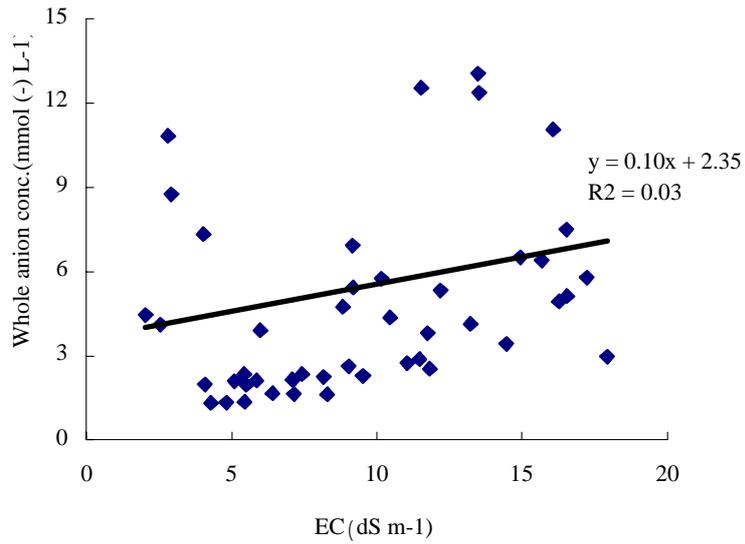


Fig. 4-2. Relationship between EC and whole anion concentration of floodplain soils from Tama River.

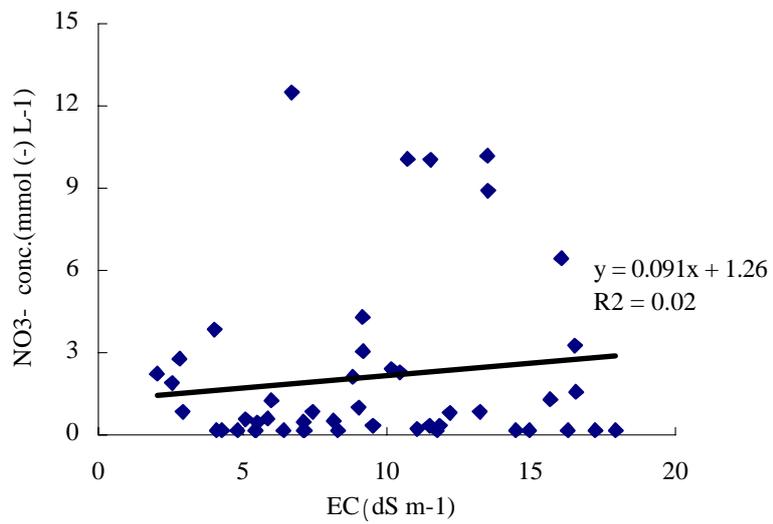


Fig. 4-3. Relationship between EC and NO₃-concentration of floodplain soils from Tama River.

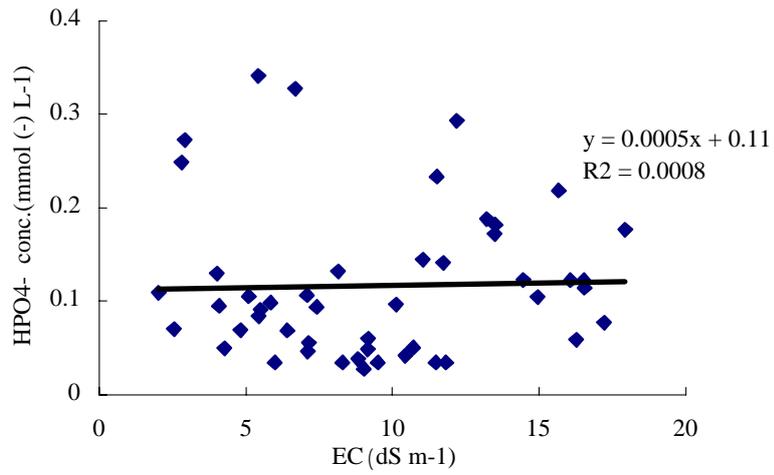


Fig. 4-4. Relationship between EC and Cl⁻ concentration of floodplain soils from Tama River.

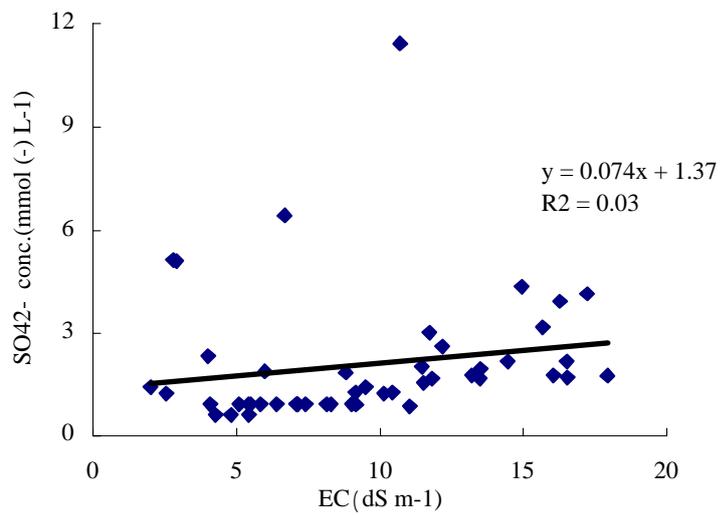


Fig. 4-5. Relationship between EC and SO₄²⁻ concentration of floodplain soils from Tama River.

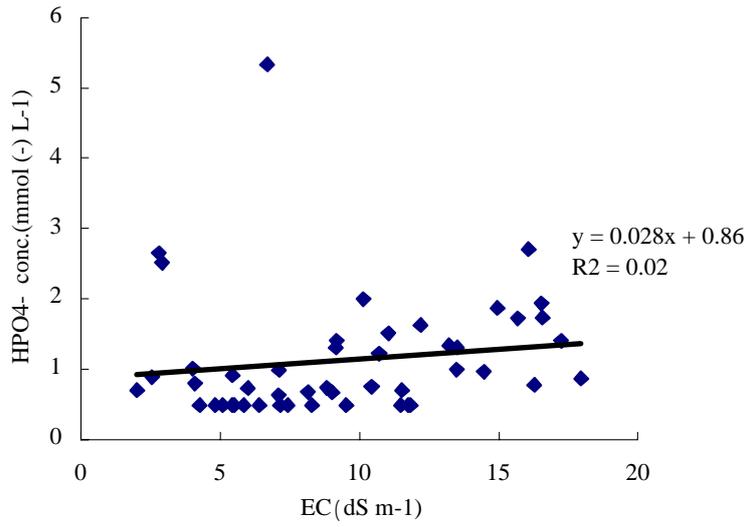


Fig. 4-6. Relationship between EC and HPO₄⁻ concentration of floodplain soils from Tama River.

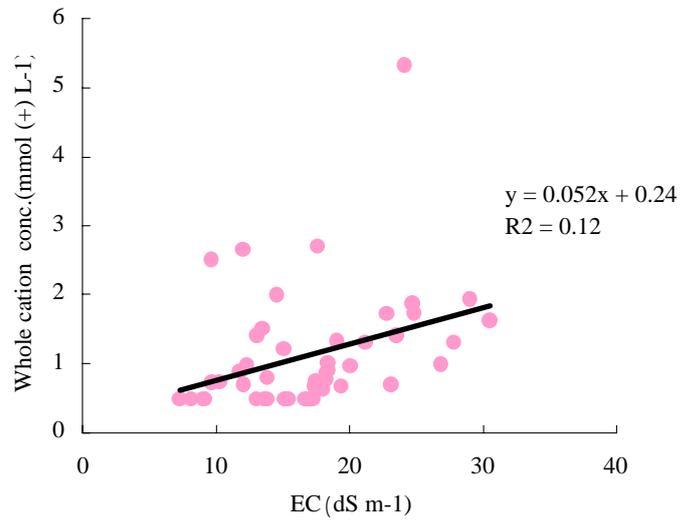


Fig. 4-7. Relationship between EC and whole cation concentration of floodplain soils from Tama River.

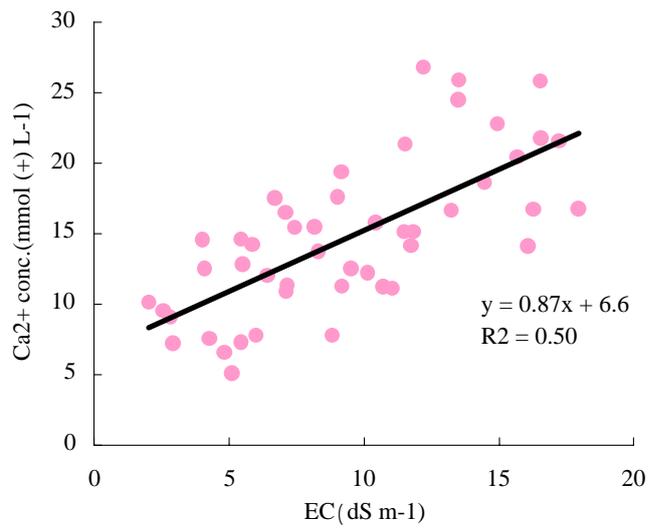


Fig. 4-8. Relationship between EC and Ca²⁺ concentration of floodplain soils from Tama River.

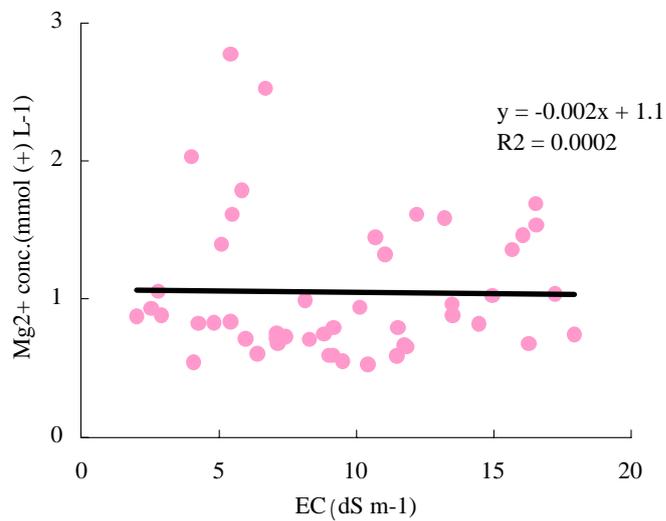


Fig. 4-9. Relationship between EC and Mg²⁺ concentration of floodplain soils from Tama River.

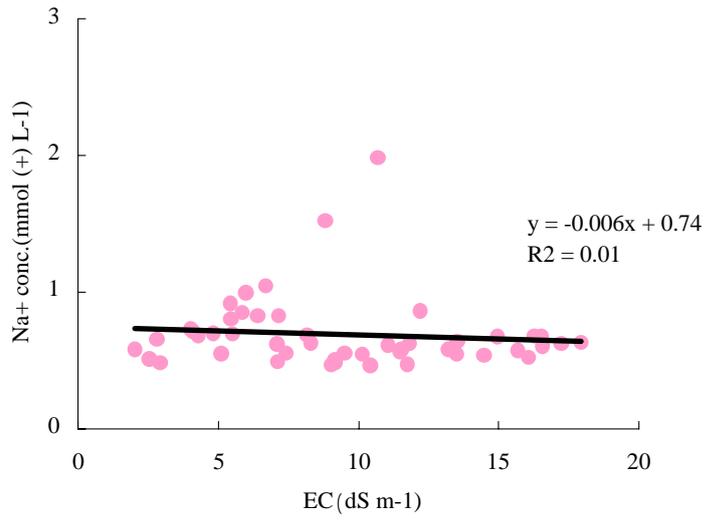


Fig. 4-10. Relationship between EC and Na+ concentration of floodplain soils from Tama River.

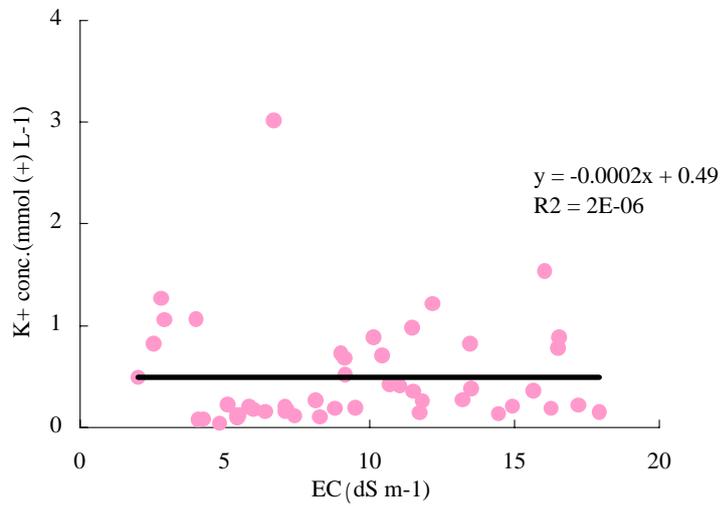


Fig. 4-11 Relationship between EC and K+ concentration of floodplain soils from Tama River.

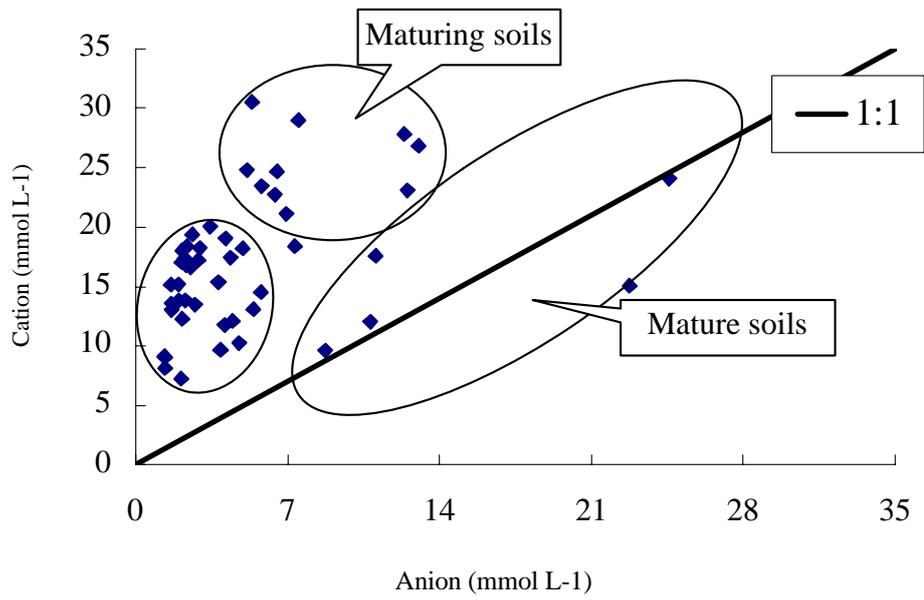


Fig. 4-13. Classification of floodplain soils of Tama River with ion balance.

Table 5-1. Effect of root exudation from donor plants on the radicle elongation of *Lactuca sativa* , tested by plantbox method

Donor plants	n	Radicle elongation ^a	r ^b	a ^c
<i>Aster kantoensis</i>	3	19 • } 1	0.81	0.37
<i>Bidens pilosa</i>	4	15 • } 4	0.90	0.54
<i>Erigeron sumatrensis</i>	3	25 • } 6	0.67	0.49
<i>Erigeron canadensis</i>	3	46 • } 9	0.45	0.28
<i>Oenothera biennis</i>	4	26 • } 10	0.71	0.43
<i>Robinia pseudo-acacia</i>	3	22 • } 6	0.84	0.56
Mowed	2	20	0.88	0.60
<i>Eragrostis curvula</i>	3	32 • } 11	0.85	0.64
Mowed	2	41	0.79	0.55
<i>Festuca arundinacea</i>				
Fawn	3	21 • } 7	0.88	0.69
Fawn - Mowed	1	13	0.92	0.75
PureGold	1	24	0.92	1.31
PureGold - Mowed	1	31	0.70	0.78
Wild	3	28 • } 2	0.62	0.72
Wild - Mowe	2	26	0.86	1.14
<i>Lolium multiflorum</i>	3	24 • } 5	0.81	0.64
Mowed	2	20	0.83	0.60
<i>Setaria viridis</i>	3	20 • } 10	0.89	0.77
Mowed	2	20	0.88	0.67
Mean± SD	48	24.9 • } 8.2		

a: Values are expressed as percentage against the control.

b: Correlation efficient were calculated from correlation line using distance from root of donor plant equivalent.

c: Trend of correlation line .

Table 5-2. Effect of dry leaf exudate from invading plants and native floodplain plants on the radicle and hypocotyl elongation of *Lactuca sativa*, tested by sandwich method

Donor plant	Status	Dry leaf weight(10ml agar ⁻¹)			
		10mg		50mg	
		Radicle	Hypocotyl	Radicle	Hypocotyl
<i>Aster kantoensis</i> ^a	Rosette	47	73	21	50
<i>Bidens pilosa</i> ^b		74	104	36	75
<i>Erigeron sumatrensis</i> ^a	Rosette	31	79	16	48
<i>Erigeron canadensis</i> ^a	Rosette	57	85	54	100
<i>Oenothera biennis</i> ^b	Rosette	53	101	33	108
<i>Robinia pseudo-acacia</i> ^b		25	49	14	27
<i>Eragrostis curvula</i> ^b		72	109	32	93
Mowed ^a		-	-	28	105
<i>Festuca arundinacea</i> ^a		50	116	24	114
<i>Festuca arundinacea</i> ^b		63	114	25	108
<i>Festuca arundinacea</i> (Mowed) ^a		-	-	22	101
<i>Lolium multiflorum</i> ^b		67	110	29	95
Mowed ^a		-	-	23	91
<i>Setaria viridis</i> ^b	Flowering	75	103	28	77
Mowed ^a	Flowering	-	-	25	93
<i>Patrinia scabiosaefolia</i> ^c	Flowering	62	101	37	97
<i>Chrysanthemum boreale</i> ^c	Flowering	74	122	46	91
<i>Dianthus superbus</i> var. <i>longicalycinus</i> ^c	After flowering	-	-	48	91
<i>Aster ageratoides</i> ssp. <i>Ovatus</i> ^c	Flowering	-	-	33	64

Plants were tested after 1.5-2 month cultivation.

A. kantoensis was tested after 6-month cultivation.

a: Tested after plantbox method examination.

b: Tested before plantbox method examination.

c: Cultivated as garden plants.

Table 5-3. Height and dry weight of donor plants

Donor plants	Height(cm)	Dry weight(mg)		T/R
		Root	Shoot	
<i>Aster kantoensis</i>	6	244	382	1.60
<i>Bidens pilosa</i>	15	119	366	3.19
<i>Erigeron sumatrensis</i>	4	270	555	2.05
<i>Erigeron canadensis</i>	6	402	698	1.74
<i>Oenothera biennis</i>	5	184	538	3.51
<i>Robinia pseudo-acacia</i>	11	64	160	2.50
Mowed	7	75	49	0.67
<i>Eragrostis curvula</i>	45	73	183	2.73
Mowed	14	50	66	1.52
<i>Festuca arundinacea</i>				
Fawn	32	135	353	2.61
Fawn - Mowed	7	79	81	1.03
PureGold	14	29	103	3.55
PureGold - Mowed	7	13	22	1.69
Wild	32	58	353	2.76
Wild - Mowe	13	12	80	1.03
<i>Lolium multiflorum</i>	34	97	253	3.09
Mowed	10	70	52	0.79
<i>Setaria viridis</i>	32	141	500	3.63
Mowed	7	100	61	0.56

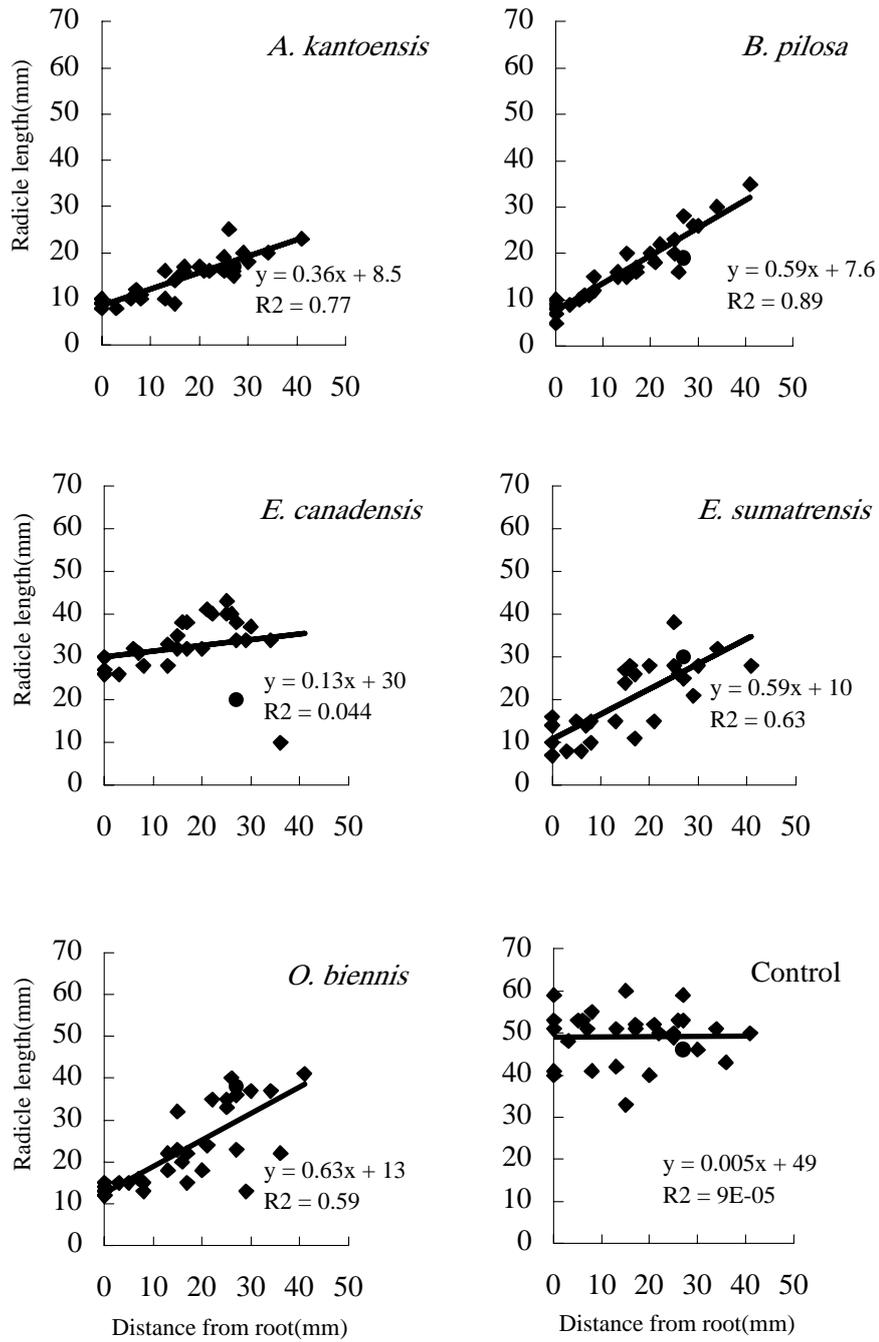


Fig. 5-1. Distance from root of donor plant and radicle length of *Lactuca sativa*.

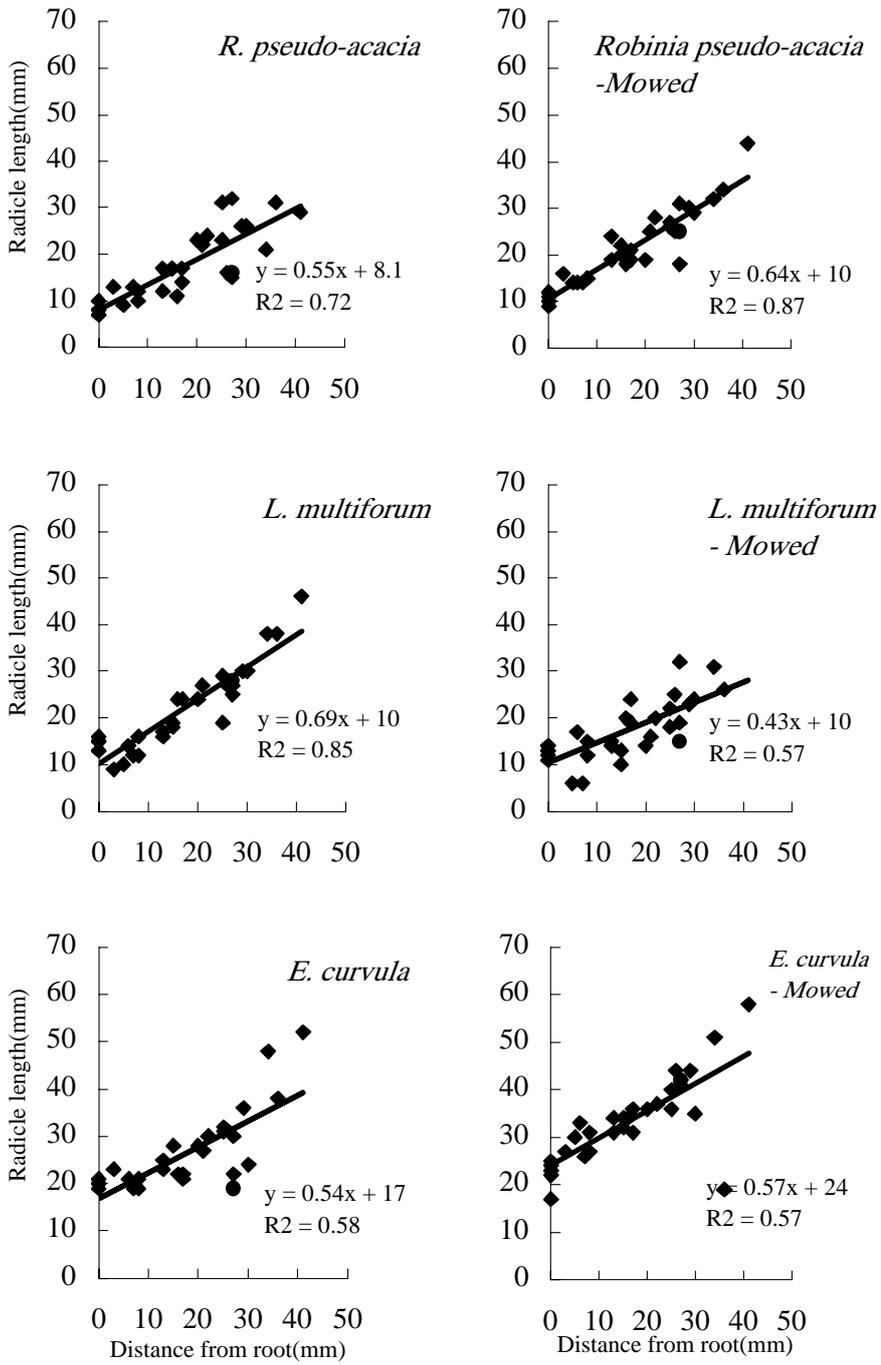


Fig. 5.1. Continued (2)

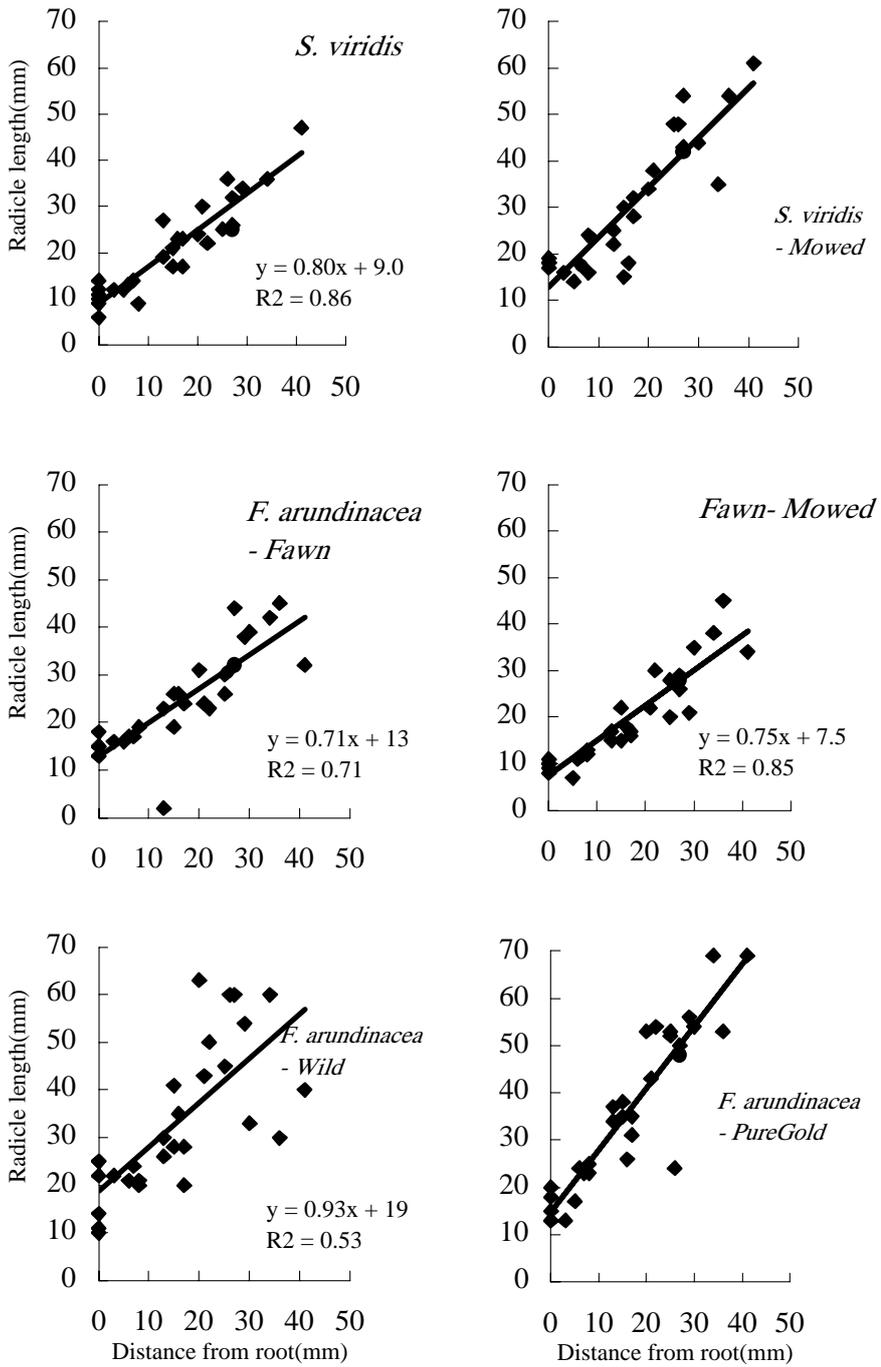


Fig. 5-1. Continued (3)

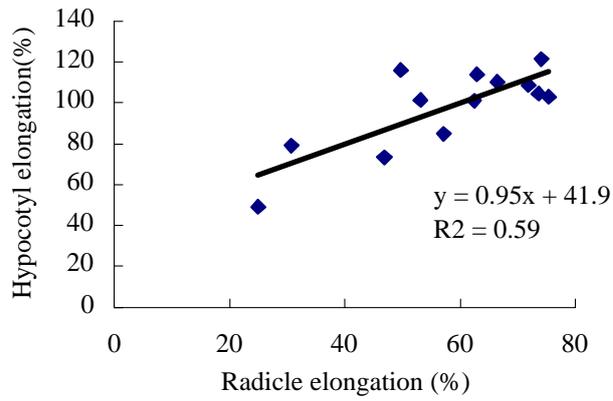


Fig. 5-2. Distribution of radicle and hypocotyl elongation (% against control) affected by 10mg dry leaf of cultured floodplain plants.

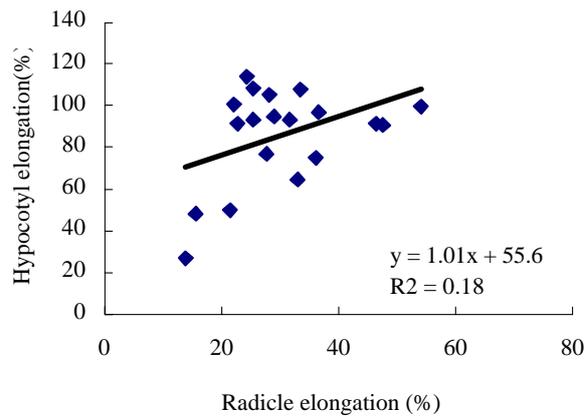


Fig. 5-3. Distribution of radicle and hypocotyl elongation (% against control) affected by 50mg dry leaf of cultured floodplain plants.

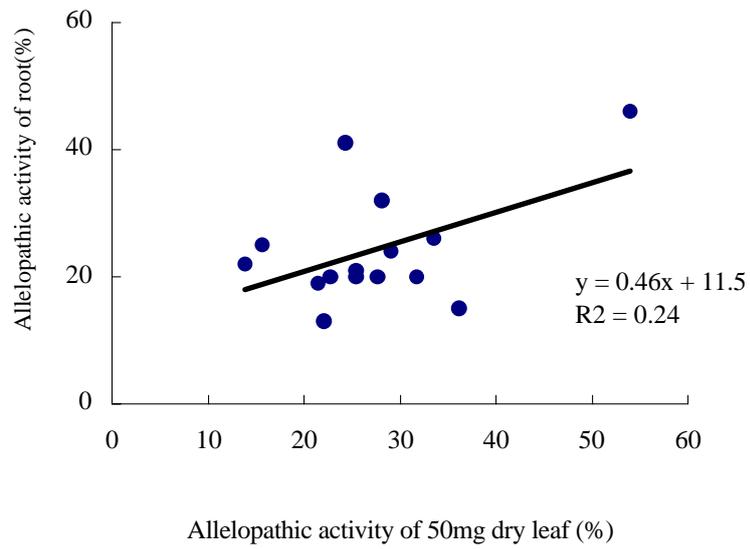


Fig. 5-4. Relationship between allelopathic activity of dry leaf and root of cultured floodplain plants on radicle elongation (% against control) of *Lactuca sativa* .

Table 6-1. Radicle and hypocotyl elongation of lettuce grown on agar gel containing dry leaves of floodplain plants growing on *Robinia pseudo-acacia* woodland on the Nagata District of the Tama River, tested by Sandwich method. Values are expressed as percentage of each length of the control

Species	Japanese name	Family	n	Dry leaf weight(10ml agar-1)			
				10mg		50mg	
				Radicle	Hypocotyl	Radicle	Hypocotyl
<i>Cocculus orbiculatus</i>	アオツツラフジ	ツツラフジ科	4	68 • }7	92 • }8	41 • }15	88 • }7
<i>Polygonum japonica</i>	イタドリ	タデ科	6	59 • }12	95 • }16	36 • }17	81 • }18
<i>Poa sphondylodes</i>	イチゴツナギ	イネ科	2	55	72	34	72
<i>Achyranthes japonica</i>	イノコズチ	ヒユ科	1	54	102	29	78
<i>Ambrosia trifida</i>	オオブタクサ	キク科	4	65 • }19	101 • }5	36 • }11	87 • }21
<i>Festuna arundinacea</i>	オニウシノケグサ	イネ科	5	60 • }16	103 • }25	32 • }12	92 • }23
<i>Torilis scabra</i>	オヤブジラミ	セリ科	1	55	99	47	107
<i>Glechoma hederacea</i> var. <i>granis</i>	カキドオシ	シソ科	2	68	92	47	81
<i>Humulus japonicus</i>	カナムグラ	クワ科	5	68 • }13	101 • }6	30 • }8	93 • }14
<i>Agropyron tsukushiense</i> var. <i>transiens</i>	カモジグサ	イネ科	2	57	103	33	94
<i>Pueraria lobata</i>	クズ	マメ科	5	55 • }15	89 • }8	29 • }8	80 • }13
<i>Miscanthus sinensis</i>	ススキ	イネ科	4	72 • }13	87 • }19	54 • }10	80 • }15
<i>Ampelopsis glandulosa</i> var. <i>heterophylla</i>	ノブドウ	ブドウ科	1	63	87	37	77
<i>Erigeron philadelphicus</i>	ハルジオン	キク科	2	68	113	38	101
<i>Erigeron annuus</i>	ヒメジョオン	キク科	3	67 • }24	124 • }20	42 • }24	116 • }35
<i>Ambrosia artemisiaefolia</i> var. <i>elatior</i>	ブタクサ	キク科	1	60	149	27	118
<i>Paederia scandens</i> var. <i>mairei</i>	ヘクソカズラ	アカネ科	1	77	104	49	118
<i>Galium spurium</i> var. <i>echinospermon</i>	ヤエムグラ	アカネ科	1	NA	NA	65	89
<i>Cayratia japonicus</i>	ヤブガラシ	ブドウ科	6	71 • }10	114 • }10	26 • }10	86 • }19
<i>Torilis japonica</i>	ヤブジラミ	セリ科	2	68	115	41	100
<i>Smphicarpea edgeworthii</i> var. <i>japonica</i>	ヤブマメ	マメ科	1	66	101	33	86
<i>Dioscorea japonica</i>	ヤマノイモ	ヤマノイモ科	1	66	96	38	92
<i>Artemisia princeps</i>	ヨモギ	キク科	4	64 • }17	109 • }6	35 • }14	86 • }8
		AV±SD		64	102	38	91

Table 6-2. Radicle and hypocotyl elongation of lettuce grown on agar gel containing dry soil and dry leaves of *Robinia pseudo-acacia* collected from the Nagata District of the Tama River

Soil	Treatment		Elongation(mm)	Percentage of control		Percentage of each control(%)		
Woodland soil	1g Control	R	19.6	206.4	Leaves/Control	R	24.2	
		H	9.5	200.0		H	65.5	
	Leaves	R	4.8	50.0	Soil/Control	R	62.2	
		H	6.2	131.0		H	100.3	
	Soil	R	12.0	62.2	Leaves + soil/Leaves	R	114.6	
		H	8.1	100.3		H	98.2	
	Leaves + soil	R	5.4	57.3	Leaves + soil/Soil	R	92.2	
		H	6.1	128.7		H	128.3	
	5g	Control	R	19.6	206.4	Leaves/Control	R	24.2
			H	9.5	200.0		H	65.5
		Leaves	R	4.8	50.0	Soil/Control	R	35.4
			H	6.2	131.0		H	83.3
Soil		R	6.4	35.4	Leaves + soil/Leaves	R	91.2	
		H	6.3	83.3		H	98.2	
Leaves + soil		R	4.3	45.6	Leaves + soil/Soil	R	128.9	
		H	6.1	128.7		H	154.5	
Riverbed soil		1g Control	R	19.6	206.4	Leaves/Control	R	24.2
			H	9.5	200.0		H	65.5
		Leaves	R	4.8	50.0	Soil/Control	R	84.0
			H	6.2	131.0		H	99.1
	Soil	R	15.8	84.0	Leaves + soil/Leaves	R	156.7	
		H	8.7	99.1		H	119.6	
	Leaves + soil	R	7.4	78.4	Leaves + soil/Soil	R	93.3	
		H	7.4	156.7		H	158.1	
	5g	Control	R	19.6	206.4	Leaves/Control	R	24.2
			H	9.5	200.0		H	65.5
		Leaves	R	4.8	50.0	Soil/Control	R	87.4
			H	6.2	131.0		H	103.9
Soil		R	16.4	87.4	Leaves + soil/Leaves	R	145.0	
		H	8.8	103.9		H	121.4	
Leaves + soil		R	6.9	72.5	Leaves + soil/Soil	R	83.0	
		H	7.6	159.1		H	153.0	

Table 6-3. Radicle and hypocotyl elongation of lettuce grown on agar gel containing dry soil and dry leaves of *Ambrosia trifida* collected from the Nagata District of the Tama River

Soil	Treatment		Elongation(mm)	Percentage of control		Percentage of each control(%)		
Woodland soil 1g	Control	R	22.1	100.0	Leaves/Control	R	29.8	
		H	11.1	100.0		H	87.0	
	Leaves	R	6.6	29.8	Soil/Control	R	62.2	
		H	9.7	87.0		H	100.3	
	Soil	R	12.1	62.2	Leaves + soil/Leaves	R	94.5	
		H	11.9	100.3		H	104.6	
	Leaves + soil	R	6.2	28.2	Leaves + soil/Soil	R	45.4	
		H	10.1	91.0		H	90.7	
	5g	Control	R	22.1	100.0	Leaves/Control	R	29.8
			H	11.1	100.0		H	87.0
		Leaves	R	6.6	29.8	Soil/Control	R	35.4
			H	9.7	87.0		H	83.3
Soil		R	7.9	35.4	Leaves + soil/Leaves	R	74.3	
		H	8.9	83.3		H	83.9	
Leaves + soil		R	4.9	22.2	Leaves + soil/Soil	R	62.7	
		H	8.1	73.0		H	87.7	
Riverbed soil 1g		Control	R	22.1	100.0	Leaves/Control	R	29.8
			H	11.1	100.0		H	87.0
		Leaves	R	6.6	29.8	Soil/Control	R	84.0
			H	9.7	87.0		H	99.1
	Soil	R	19.0	84.0	Leaves + soil/Leaves	R	126.6	
		H	11.7	99.1		H	97.7	
	Leaves + soil	R	8.3	37.8	Leaves + soil/Soil	R	45.0	
		H	9.4	85.0		H	85.7	
	5g	Control	R	22.1	100.0	Leaves/Control	R	29.8
			H	11.1	100.0		H	87.0
		Leaves	R	6.6	29.8	Soil/Control	R	87.4
			H	9.7	87.0		H	103.9
Soil		R	17.3	87.4	Leaves + soil/Leaves	R	75.9	
		H	10.9	103.9		H	97.7	
Leaves + soil		R	5.0	22.7	Leaves + soil/Soil	R	25.9	
		H	9.4	85.0		H	81.8	

Table 6-4. Radicle and hypocotyl elongation of lettuce grown on agar gel containing dry soil and dry leaves of *Pueraria lobata* collected from the Nagata District of the Tama River

Soil	Treatment		Elongation (mm)	Percentage of control	Percentage of each control(%)			
Woodland soil	1g Control	R	22.1	100.0	Leaves/Control	R	15.1	
		H	11.1	100.0		H	59.0	
	Leaves	R	3.3	15.1	Soil/Control	R	62.2	
		H	6.6	59.0		H	100.3	
	Soil	R	13.7	62.2	Leaves + soil/Leaves	R	95.0	
		H	10.4	100.3		H	116.9	
	Leaves + soil	R	3.2	14.4	Leaves + soil/Soil	R	23.1	
		H	7.7	69.0		H	68.8	
	5g	Control	R	22.1	100.0	Leaves/Control	R	15.1
			H	11.1	100.0		H	59.0
		Leaves	R	3.3	15.1	Soil/Control	R	35.4
			H	6.6	59.0		H	83.3
		Soil	R	7.2	35.4	Leaves + soil/Leaves	R	88.3
			H	9.0	83.3		H	105.1
		Leaves + soil	R	2.9	13.4	Leaves + soil/Soil	R	37.7
			H	6.9	62.0		H	74.5
Riverbed soil		1g Control	R	22.1	100.0	Leaves/Control	R	15.1
			H	11.1	100.0		H	59.0
	Leaves	R	3.3	15.1	Soil/Control	R	84.0	
		H	6.6	59.0		H	99.1	
	Soil	R	19.7	84.0	Leaves + soil/Leaves	R	166.7	
		H	11.4	99.1		H	145.8	
	Leaves + soil	R	5.6	25.2	Leaves + soil/Soil	R	30.0	
		H	9.6	86.0		H	86.8	
	5g	Control	R	22.1	100.0	Leaves/Control	R	15.1
			H	11.1	100.0		H	59.0
		Leaves	R	3.3	15.1	Soil/Control	R	87.4
			H	6.6	59.0		H	103.9
		Soil	R	18.0	87.4	Leaves + soil/Leaves	R	93.3
			H	11.2	103.9		H	135.6
		Leaves + soil	R	3.1	14.1	Leaves + soil/Soil	R	16.1
			H	8.9	80.0		H	77.0

Table 6-5. Radicle and hypocotyl elongation of lettuce grown on agar gel containing dry soil and dry leaves of *Oenothera biennis* collected from the Nagata District of the Tama River

Soil	Treatment		Elongation (mm)	Percentage of control		Percentage of each control(%)		
Woodland soil	1g Control	R	18.6	100.0	Leaves/Control	R	22.5	
		H	8.2	100.0		H	89.2	
	Leaves	R	4.2	22.5	Soil/Control	R	62.2	
		H	7.3	89.2		H	100.3	
	Soil	R	13.1	62.2	Leaves + soil/Leaves	R	104.0	
		H	9.4	100.3		H	106.1	
	Leaves + soil	R	4.3	23.4	Leaves + soil/Soil	R	37.6	
		H	7.8	94.6		H	94.3	
	5g	Control	R	18.6	100.0	Leaves/Control	R	22.5
			H	8.2	100.0		H	89.2
		Leaves	R	4.2	22.5	Soil/Control	R	35.4
			H	7.3	89.2		H	83.3
Soil		R	7.4	35.4	Leaves + soil/Leaves	R	104.0	
		H	8.7	83.3		H	109.1	
Leaves + soil		R	4.3	23.4	Leaves + soil/Soil	R	66.0	
		H	8.0	97.3		H	116.8	
Riverbed soil		1g Control	R	18.6	100.0	Leaves/Control	R	22.5
			H	8.2	100.0		H	89.2
	Leaves	R	4.2	22.5	Soil/Control	R	84.0	
		H	7.3	89.2		H	99.1	
	Soil	R	14.9	84.0	Leaves + soil/Leaves	R	101.3	
		H	8.0	99.1		H	113.6	
	Leaves + soil	R	4.2	22.8	Leaves + soil/Soil	R	27.1	
		H	8.3	101.4		H	102.2	
	5g	Control	R	18.6	100.0	Leaves/Control	R	22.5
			H	8.2	100.0		H	89.2
		Leaves	R	4.2	22.5	Soil/Control	R	87.4
			H	7.3	89.2		H	103.9
Soil		R	19.6	87.4	Leaves + soil/Leaves	R	73.3	
		H	10.2	103.9		H	116.7	
Leaves + soil		R	3.1	16.5	Leaves + soil/Soil	R	18.8	
		H	8.6	104.1		H	100.1	

Table 6-6. Chemical characteristics of soils collected from the Nagata district of the Tama River

Location	Eh(mV)	EC(ds·m ⁻¹)	pH
Riverbed	433 • }4.36	5.05 • }0.69	9.06 • }0.07
Woodland	468 • }20.4	16.81 • }2.34	7.12 • }0.27

Values are mean of 3 replications with SD.

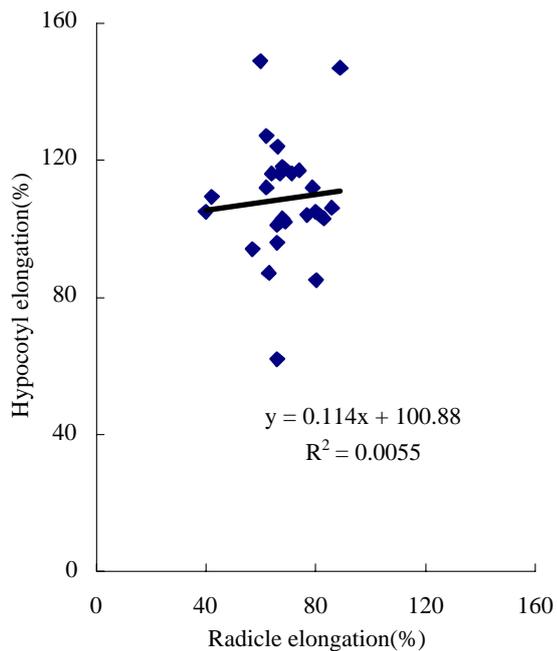


Fig. 6-1. Distribution of radicle and hypocotyl elongation affected by 10mg dry leaf of plants growing on Robinia pseudo-acacia woodland.

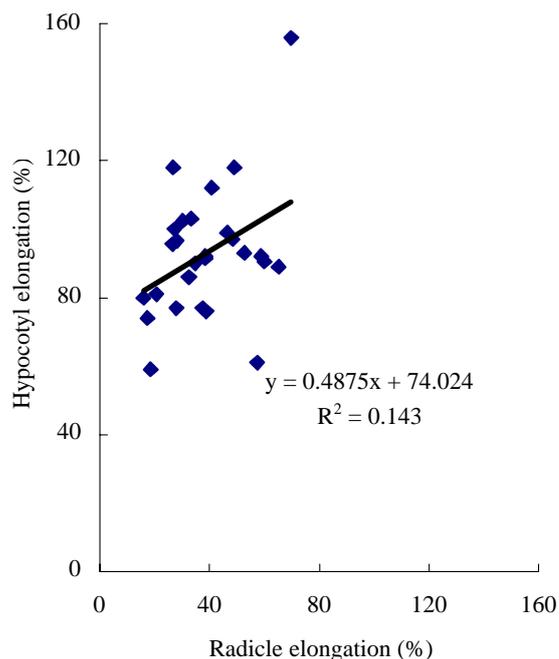


Fig. 6-2. Distribution of radicle and hypocotyl elongation affected by 50mg dry leaf of plants growing on Robinia pseudo-acacia woodland.

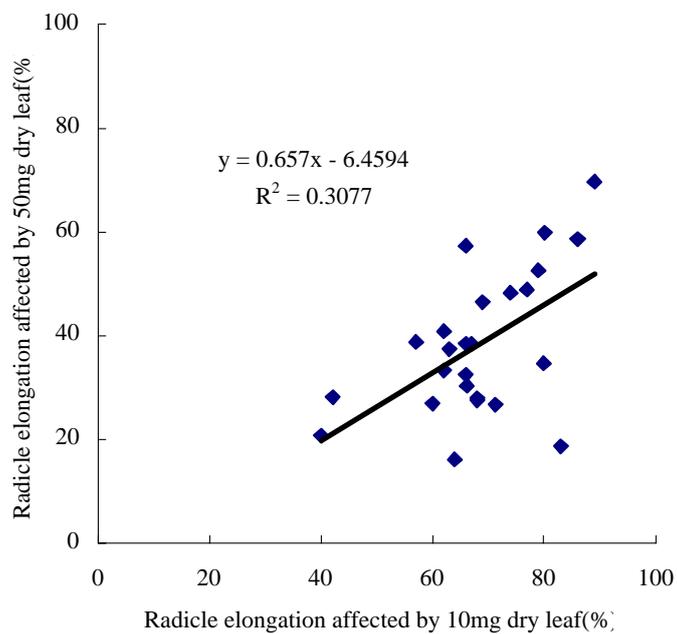


Fig. 6-3. Distribution of radicle elongation affected by dry leaf of plants growing on Robinia pseudo-acacia woodland

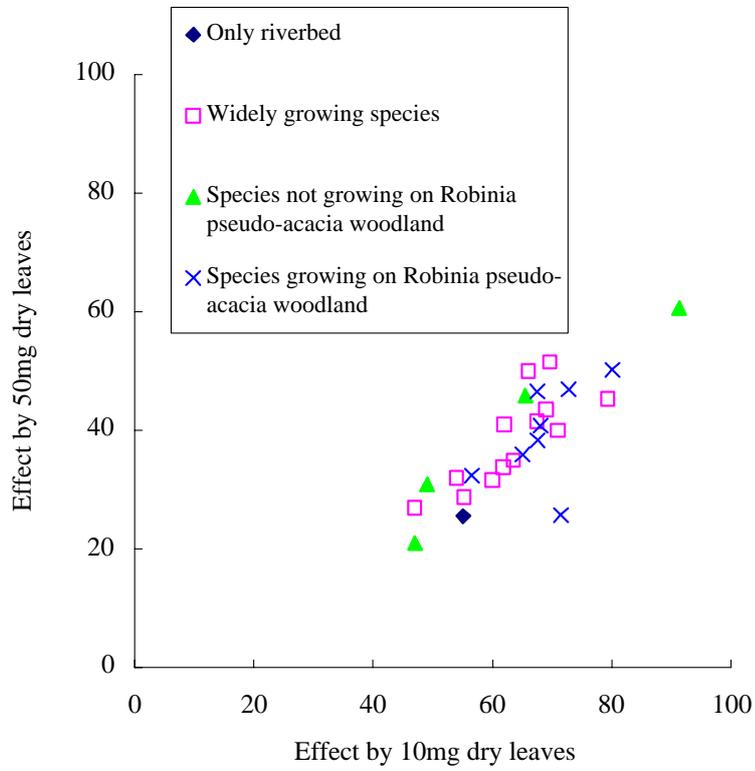


Fig. 6-4. Distribution of radicle elongation affected by dry leaves of plants growing on Robinia pseudo-acacia woodland.

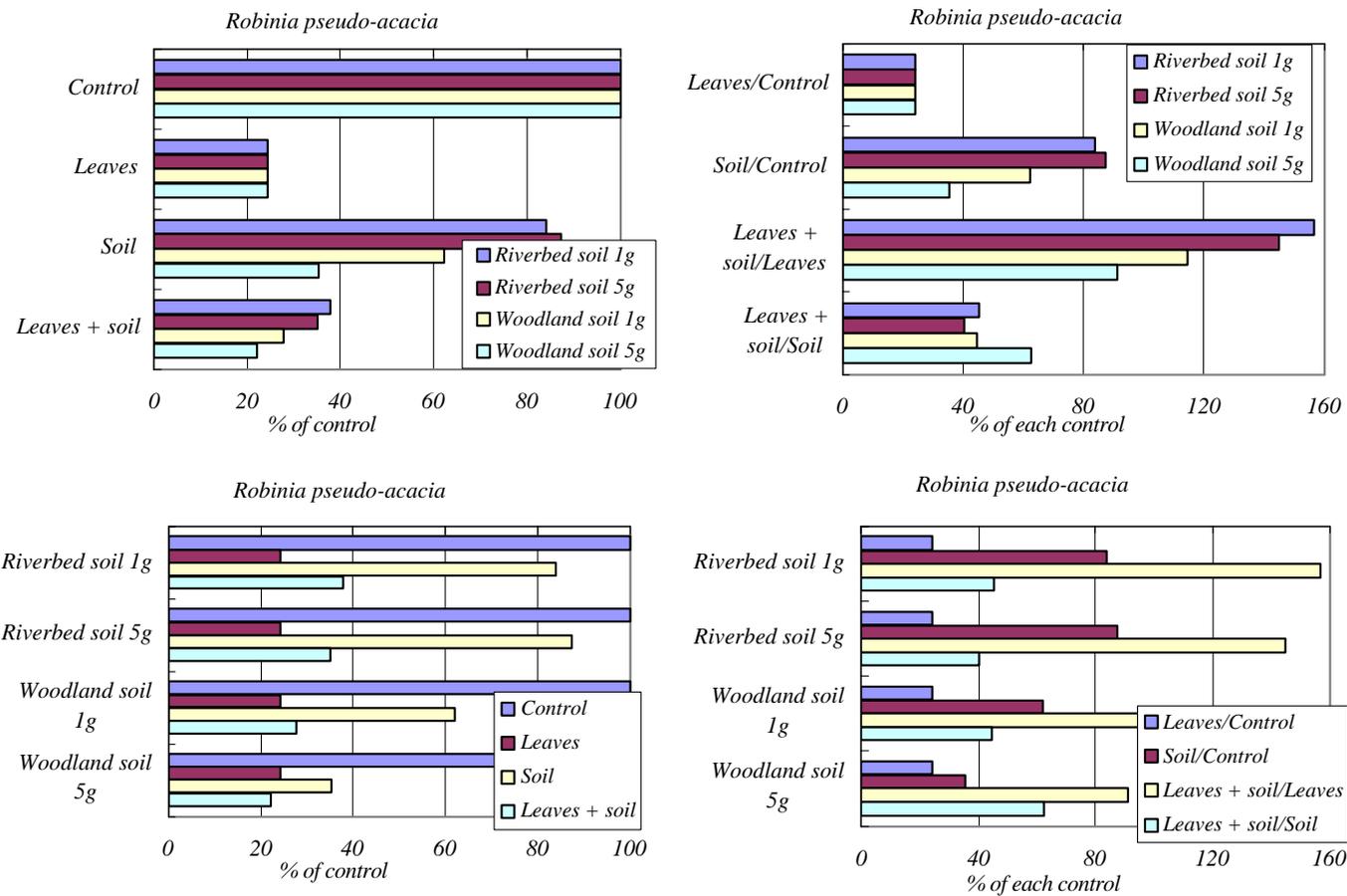


Fig. 6-5. Radicle elongation of lettuce grown on agar gel containing dry soil and dry leaves of *Robinia pseudo-acacia* collected from the Nagata District of the Tama River.

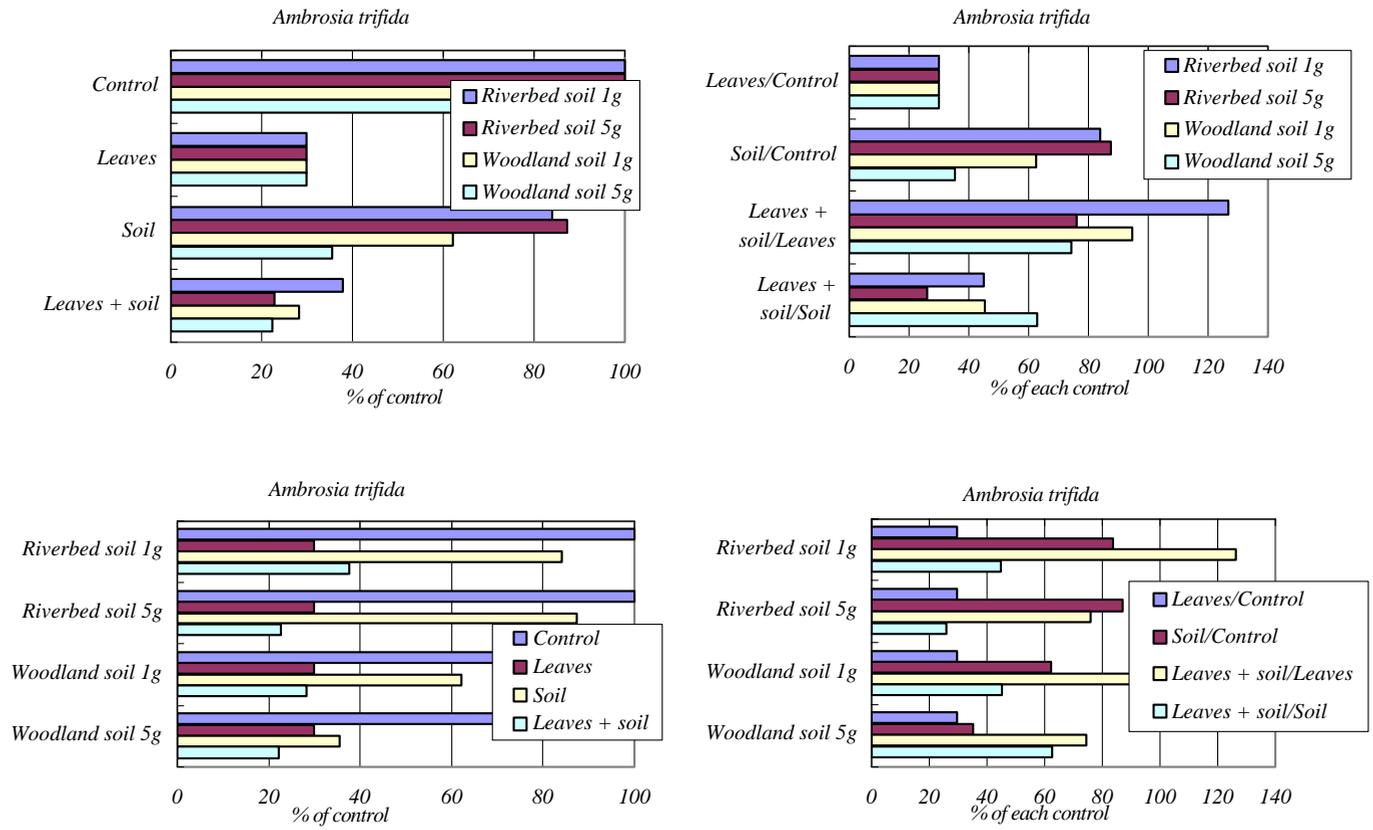


Fig. 6-6. Radicle and Hypocotyl elongation of lettuce grown on agar gel containing dry soil and dr. leaves of *Ambrosia trifida* collected from the Nagata District of the Tama River.

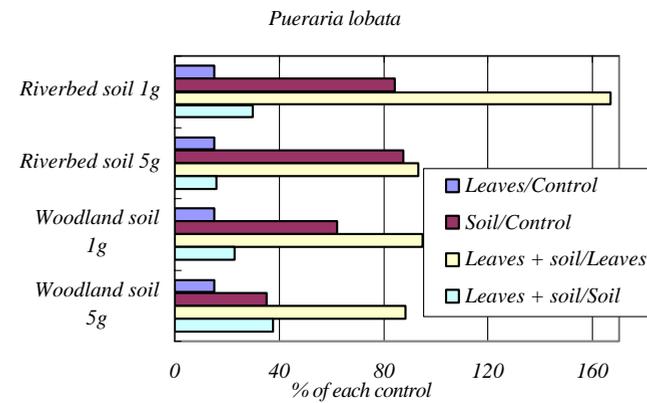
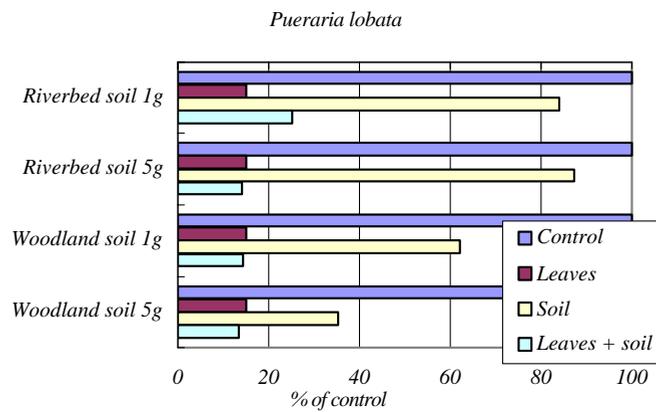
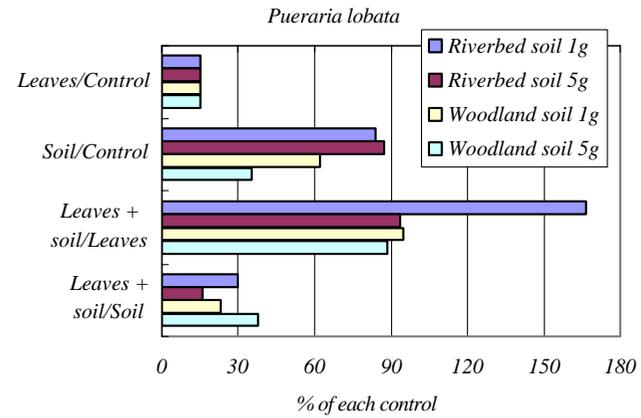
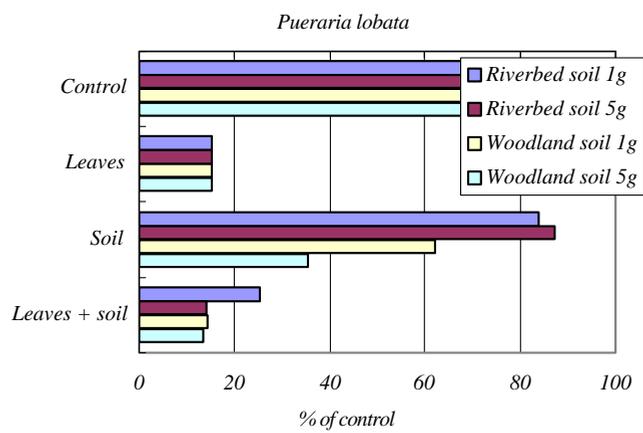


Fig. 6-7. Radicle and Hypocotyl elongation of lettuce grown on agar gel containing dry soil and dry leaves of *Pueraria lobata* collected from the Nagata District of the Tama River.

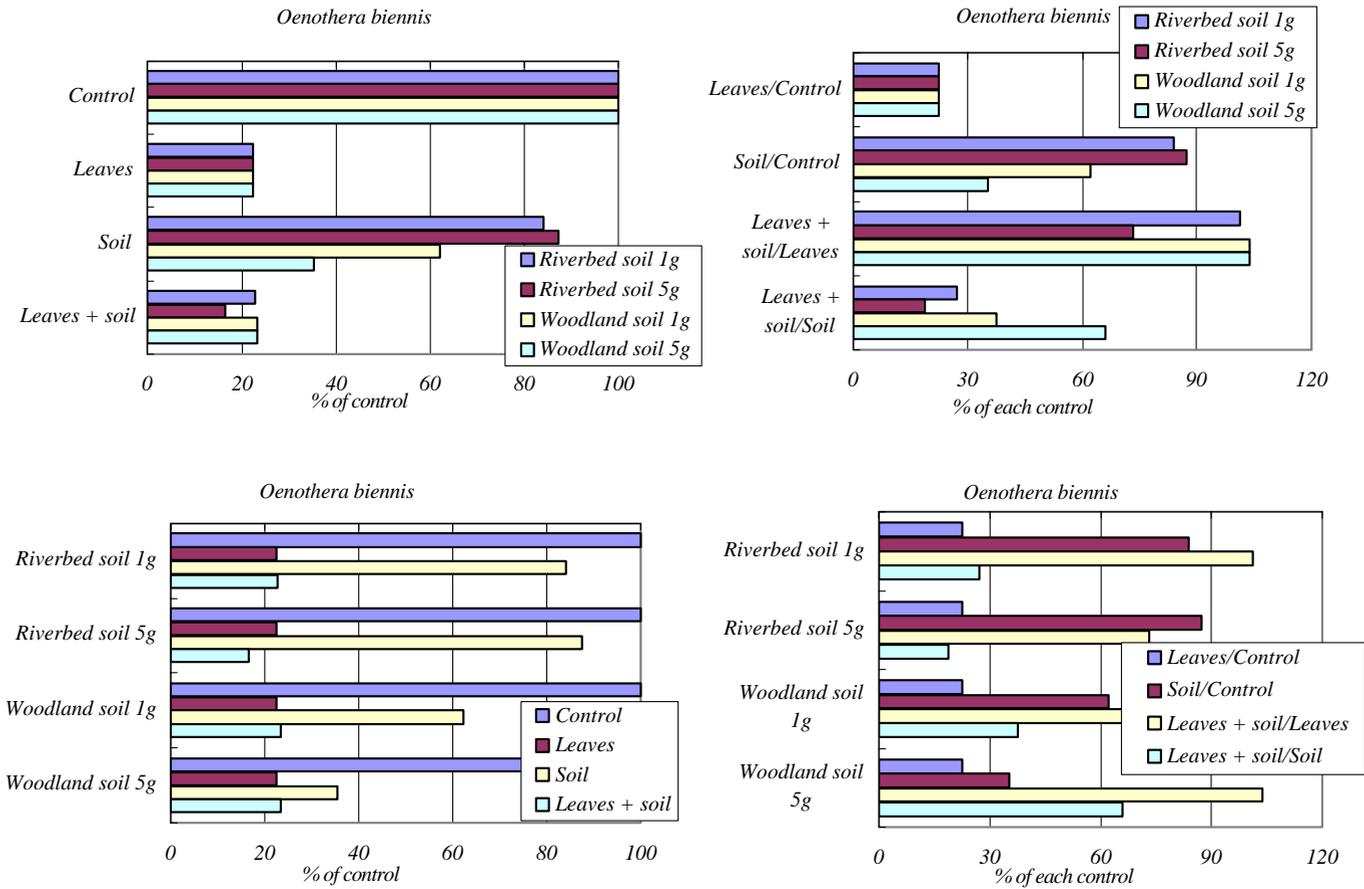


Fig. 6-8. Radicle and Hypocotyl elongation of lettuce grown on agar gel containing dry soil and dry leaves of *Oenothera biennis* collected from the Nagata District of the Tama River.

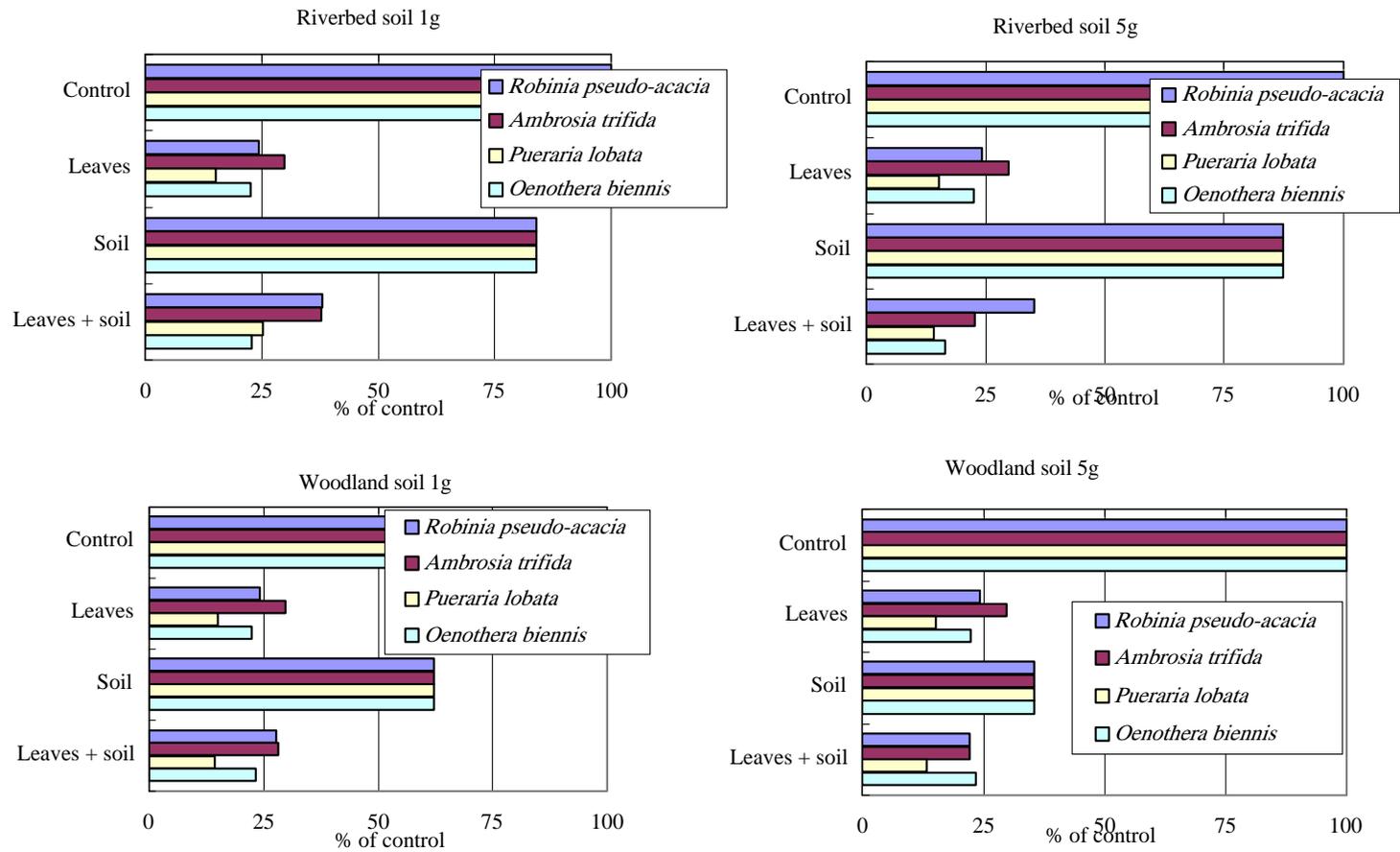


Fig. 6-9. Radicle elongation of lettuce grown on agar gel containing dry woodland soil and dry leaves of *Robinia pseudo-acacia*, *Ambrosia trifida*, *Pueraria lobata*, *Oenothera biennis* collected from the Nagata District of the Tama River.

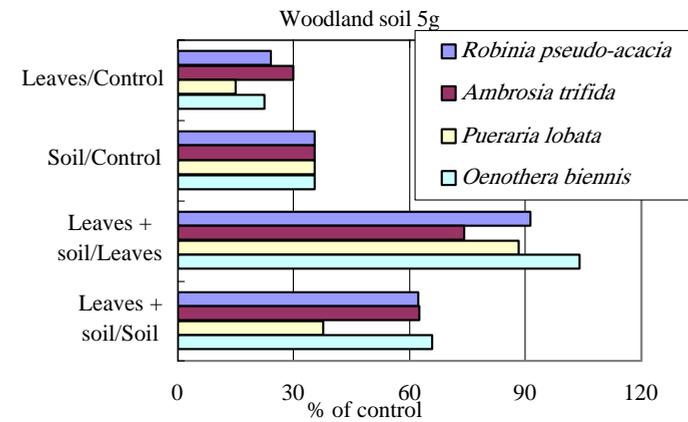
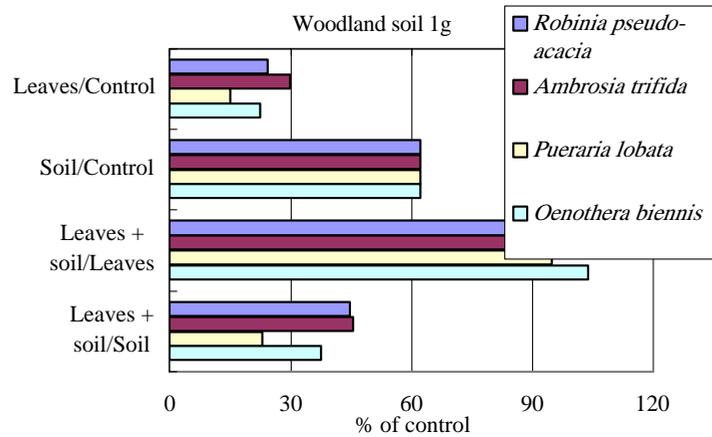
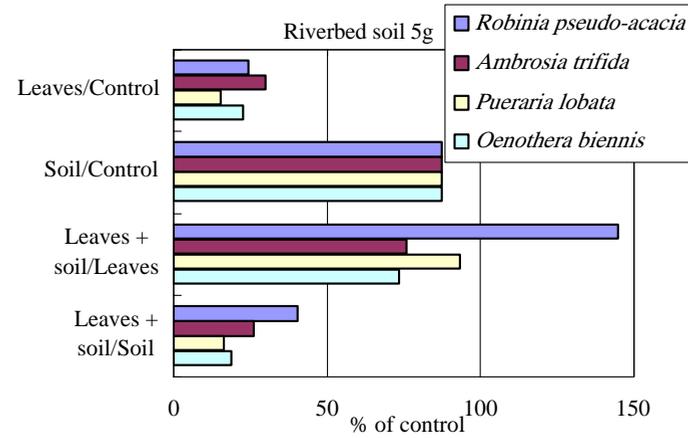
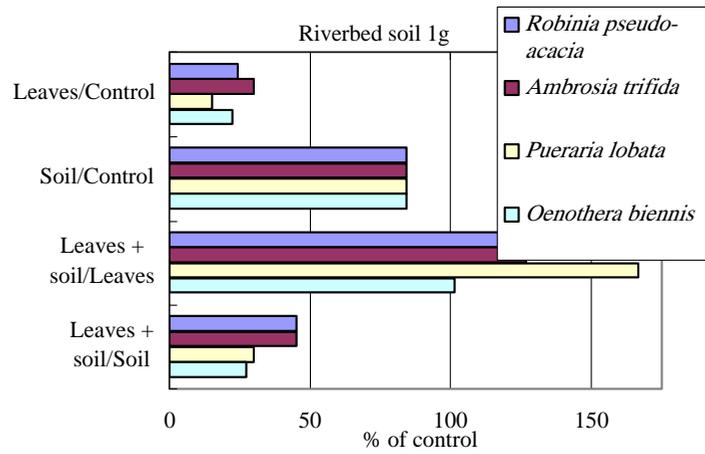


Fig. 6-10. Radicle elongation of lettuce grown on agar gel containing dry Riverbed soil and dry leaves of *Rubinia pseudo-acacia*, *Ambrosia trifida*, *Pueraria lobata*, *Oenothera biennis* collected from the Nagata District of the Tama River.

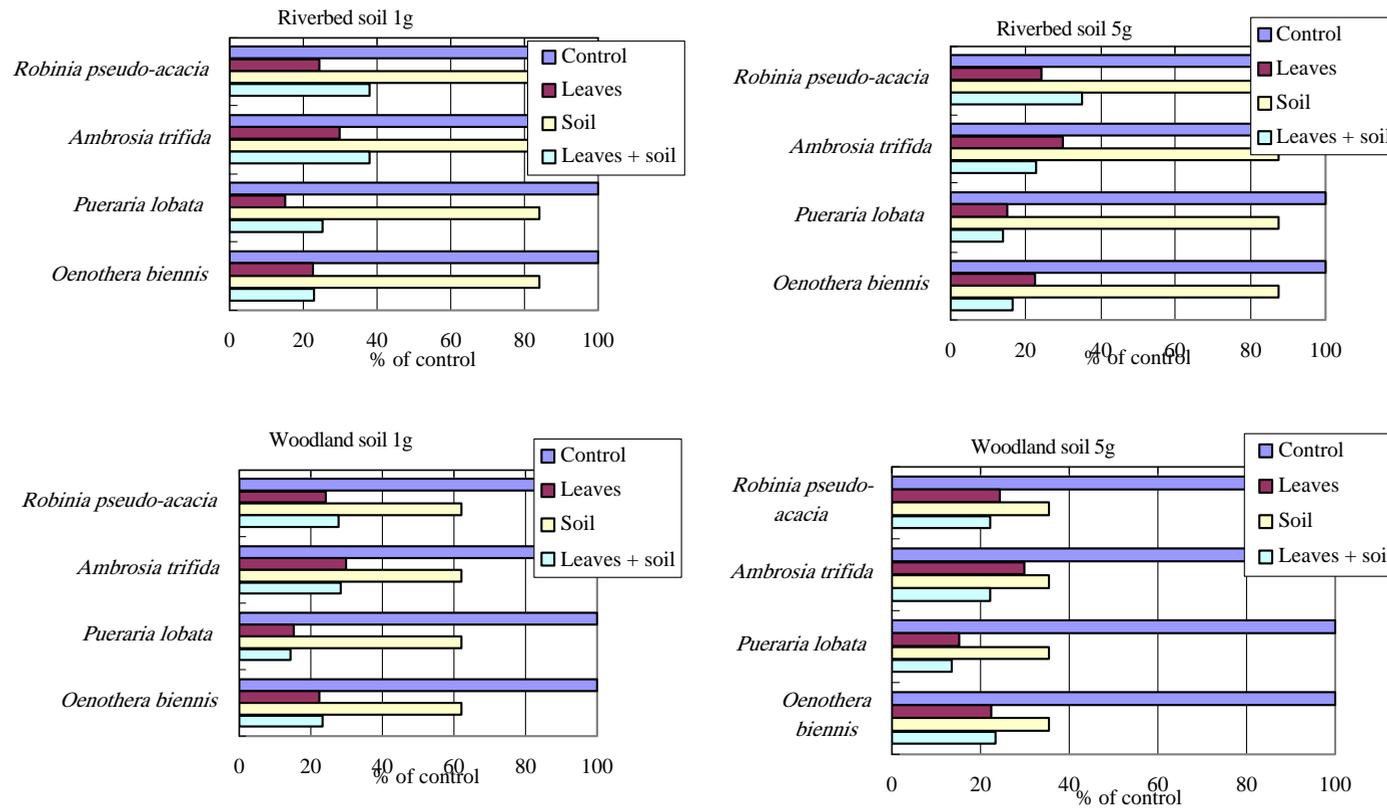


Fig. 6-11. Radicle elongation of lettuce grown on agar gel containing dry woodland soil and dry leaves of *Robinia pseudo-acacia*, *Ambrosia trifida*, *Pieraria lobata*, *Oenothera biennis* collected from the Nagata District of the Tama River.

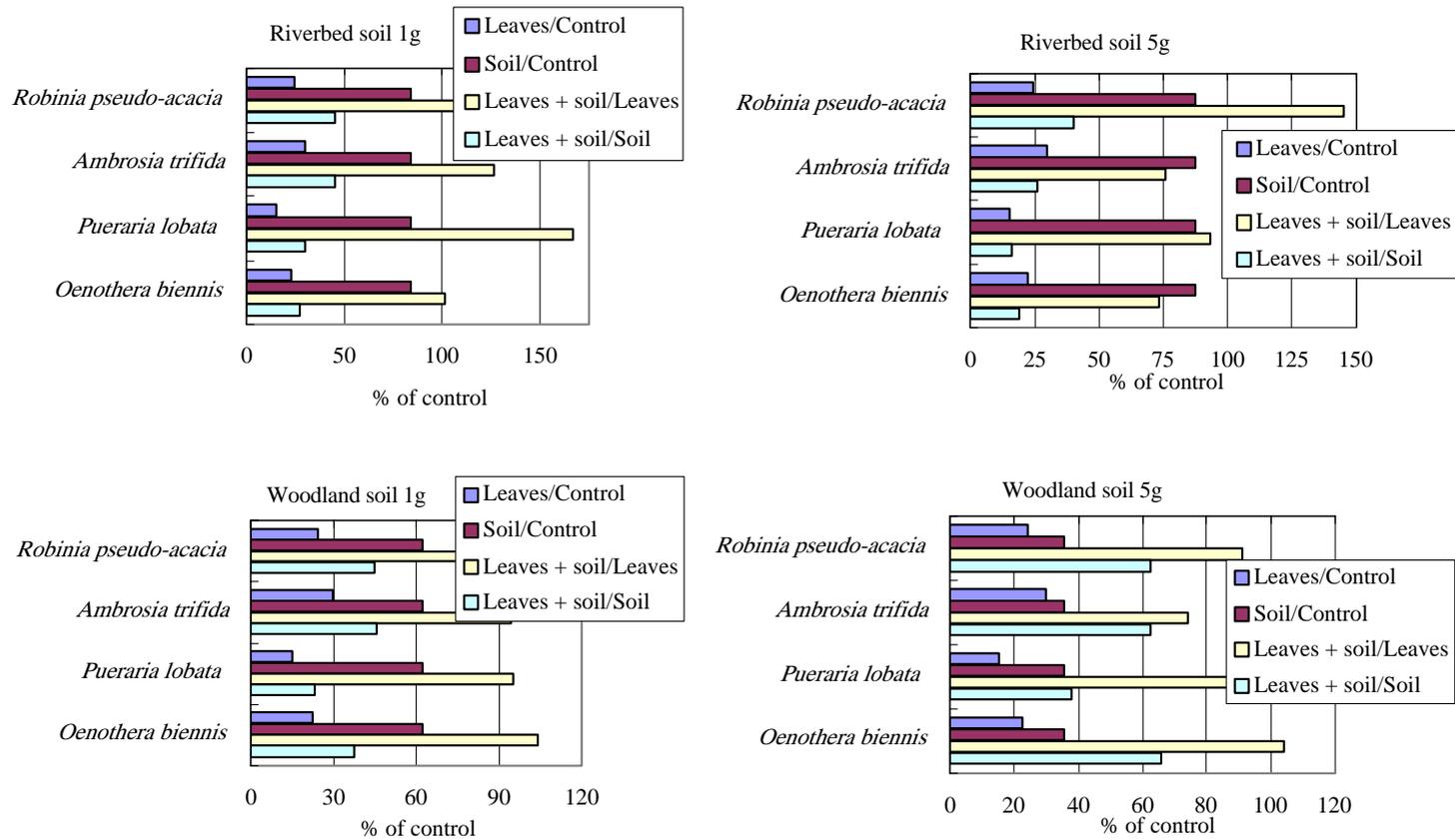


Fig. 6-12. Radicle elongation of lettuce grown on agar gel containing dry Riverbed soil and dry leaves of *Robinia pseudo-acacia*, *Ambrosia trifida*, *Pieraria lobata*, *Oenotera bienis* collected from the Nagata District of the Tama River.

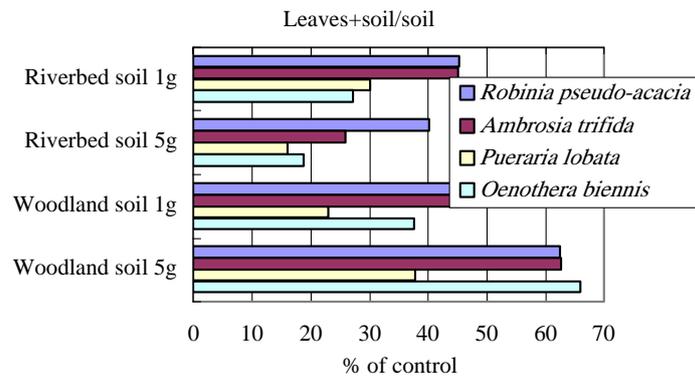
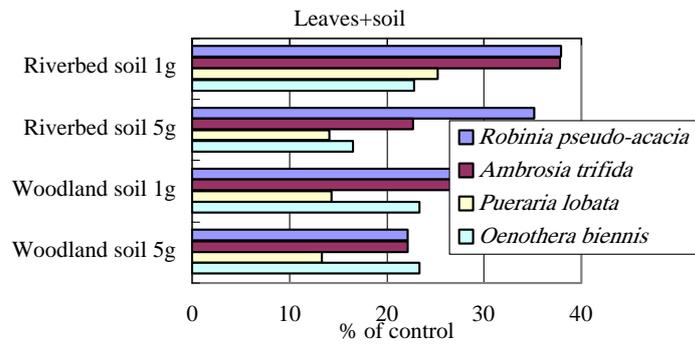


Fig. 6-13. Radicle elongation of lettuce grown on agar gel containing dry woodland soil and dry leaves of *Robinia pseudo-acacia*, *Ambrosia trifida*, *Pueraria lobata*, *Oenothera biennis* collected from the Nagata District of the Tama River.

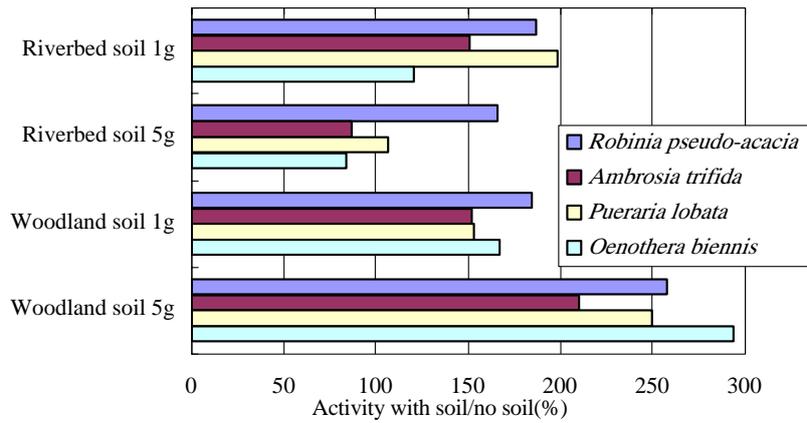
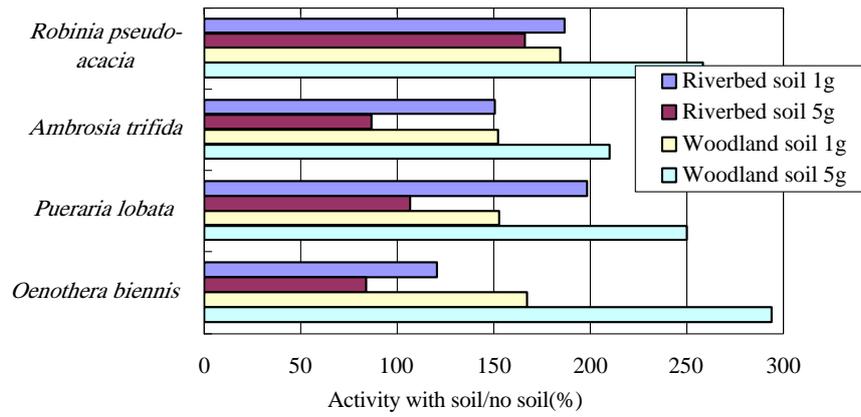


Fig. 6-14. Elongation on treatment with soil/with no soil(%)

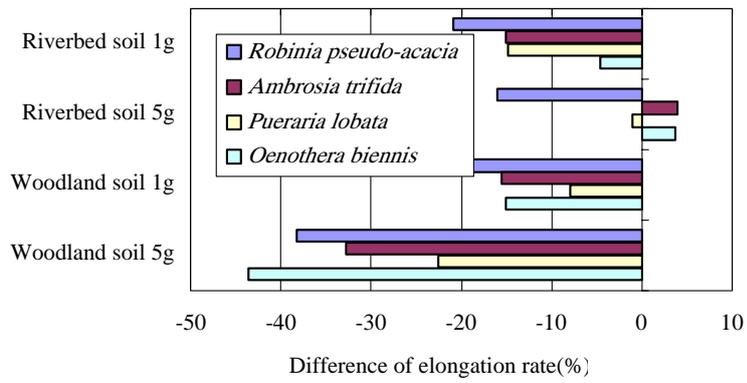
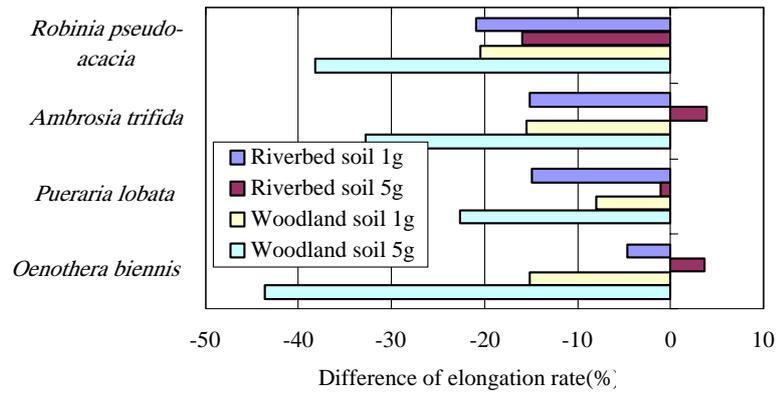


Fig. 6-15. Difference between treatment with soil/no soil.

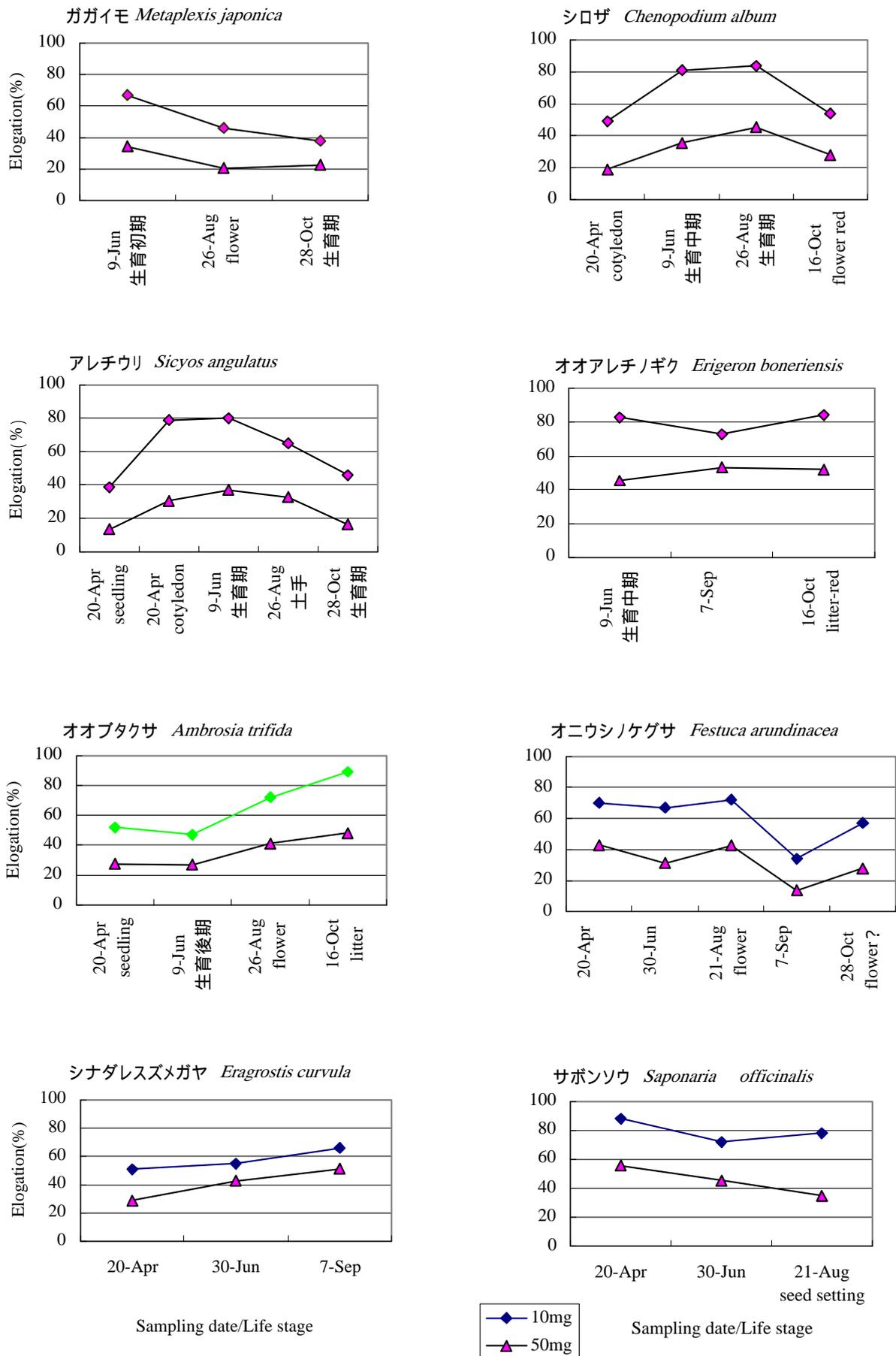


Fig. 7-1. Seasonal changes of allelopathy activity :Radicle elongation of lettuce grown on agar gel containing dry leaves of floodplain plants

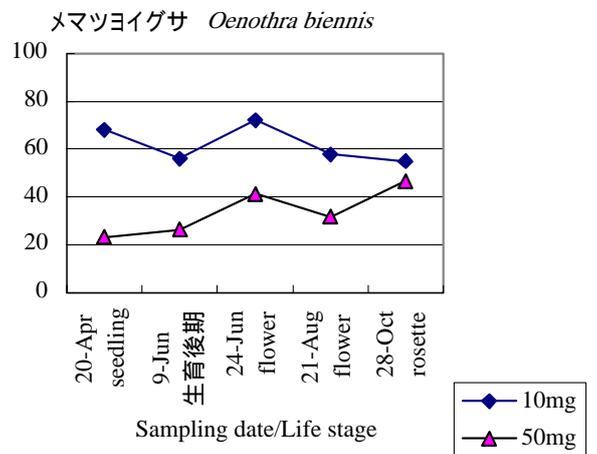
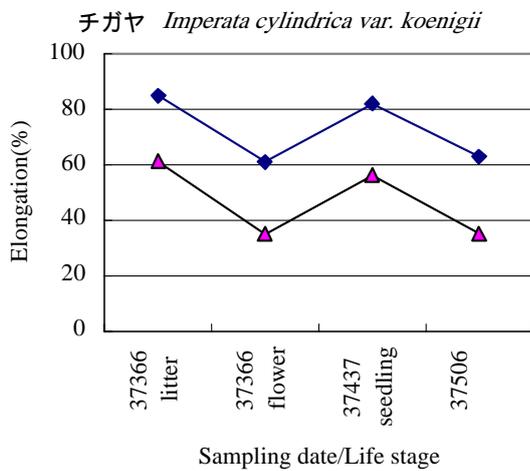
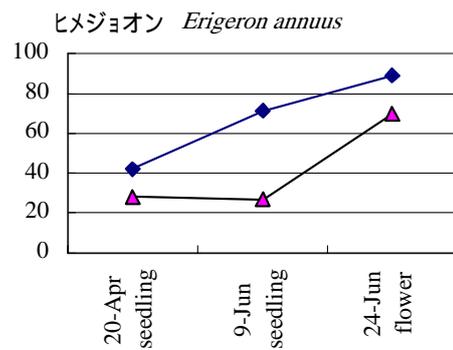
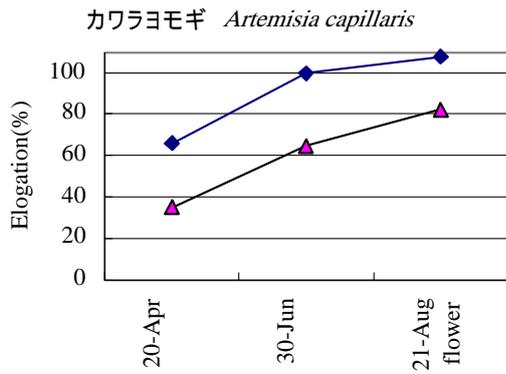
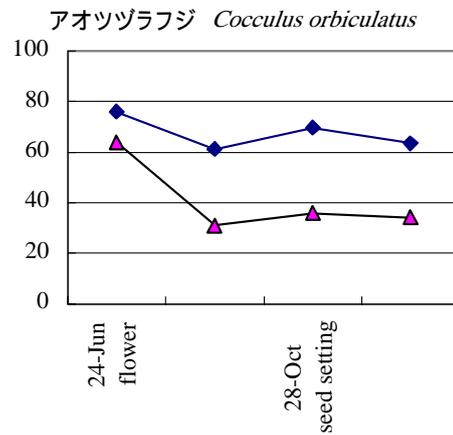
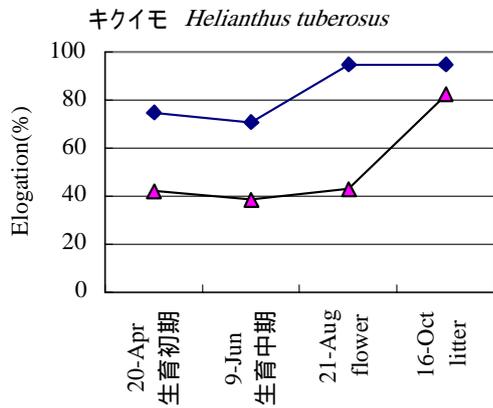
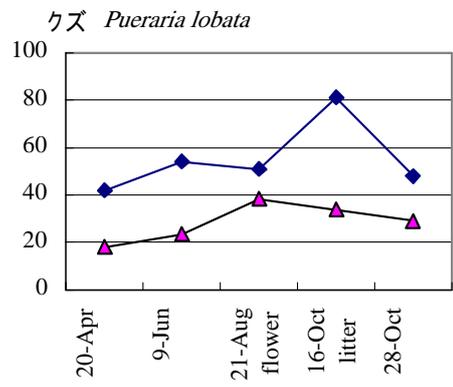
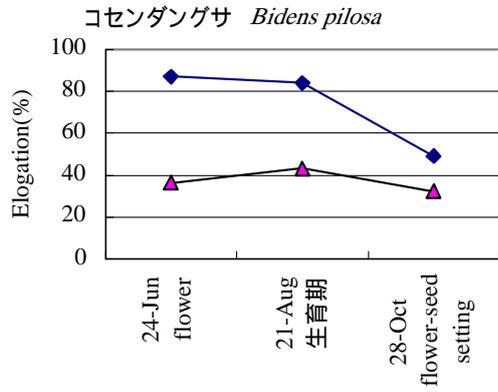


Fig. 7-1. continued 1

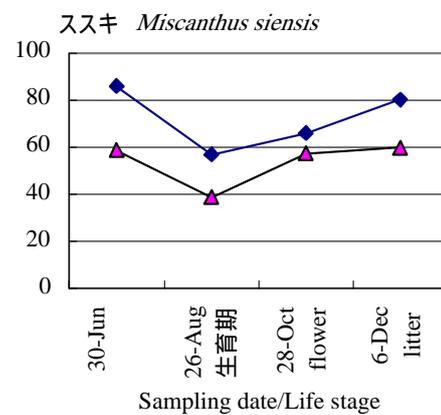
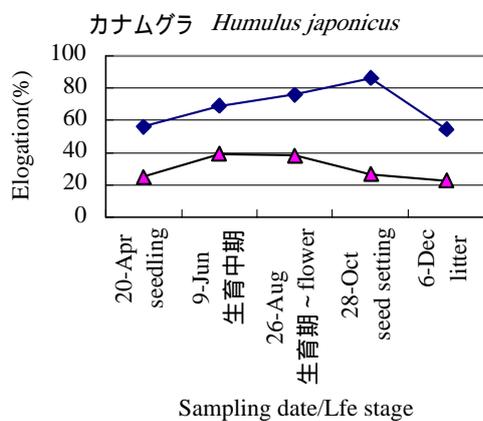
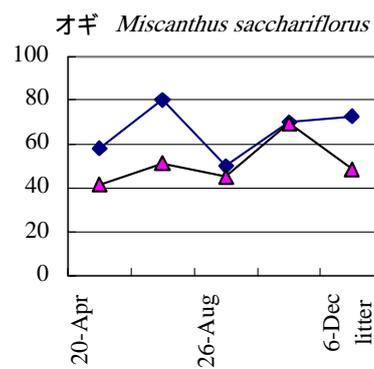
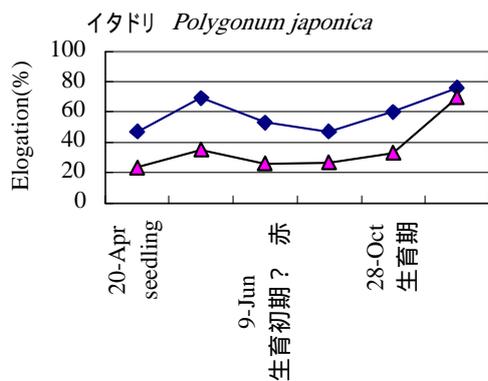
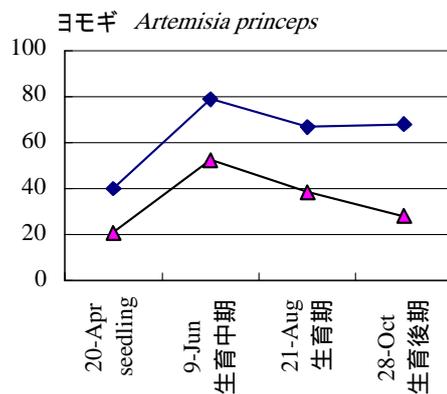
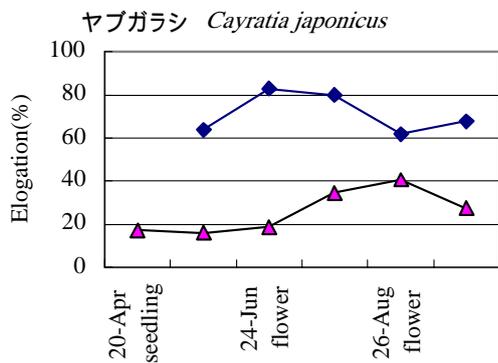
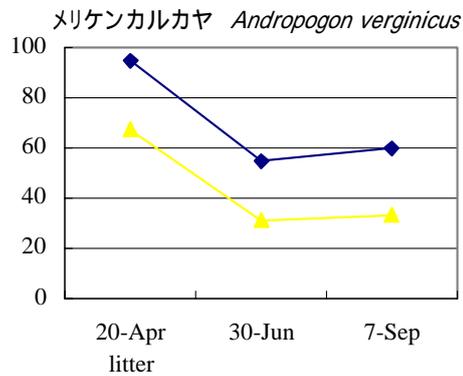
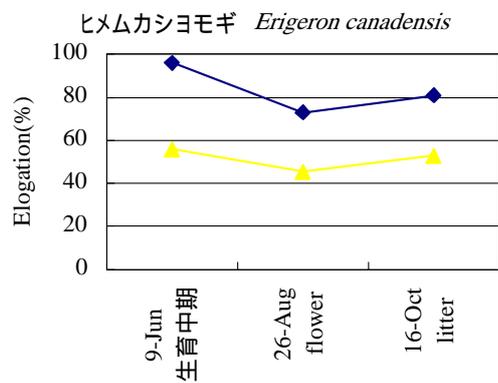
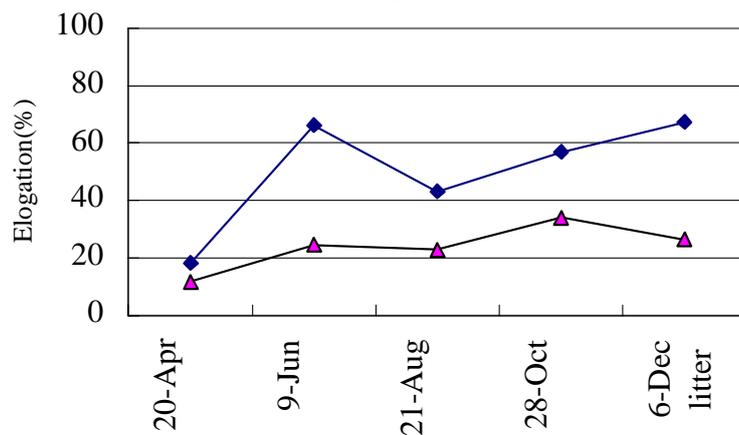


Fig. 7-1. continued 2

ニセアカシア *Robinia pseudo-acacia*



セイタカアワダチソウ *Solidago altissima*

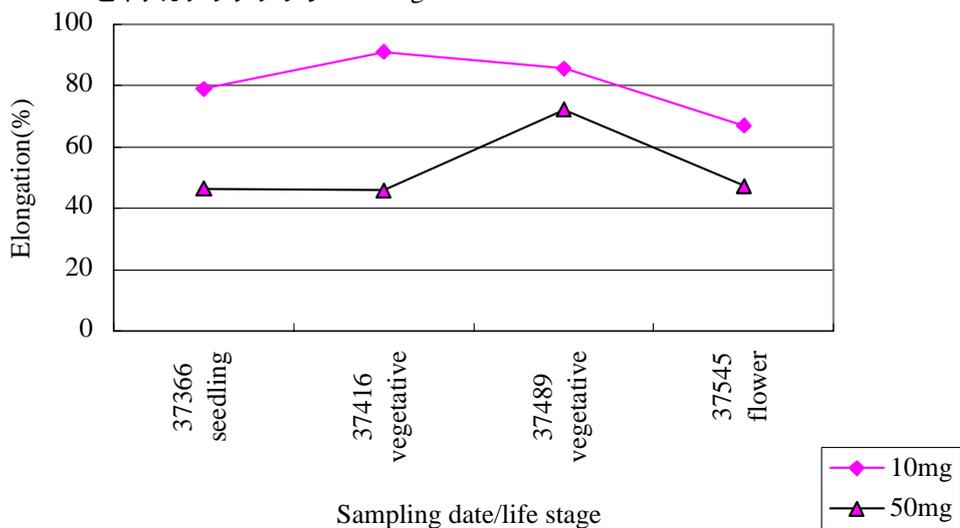


Fig. 7-1. continued 3

Table 8-1. Effect of exudation from doner plants on the radicle of lettuce, tested by Plantbox method.

Doner plants	Japanese name	<i>n</i>	Root Inhibition(%)	Root dry weight(g)	Shoot dry weight(g)	Leaf weight(g)	Plant height(cm)	Leaf area(cm ²)
<i>Sicyos angulatus</i>	アレチウリ	5	47±13	0.06±0.01	0.32±0.08	0.16	33±15	67±14
<i>Ambrosia trifida</i>	オオブタクサ	5	19±3	0.52±0.18	0.81±0.15	0.46	14±2	151±25
<i>Humulus japonicus</i>	カナムグラ	5	15±3	0.11±0.02	0.43±0.06	0.22	49±14	112±25
<i>Helianthus tuberosus</i>	キクイモ	5	39±3	0.56±0.03	1.38±0.09	0.85	20±1	205±23
<i>Chenopodium album</i>	シロザ	5	20±3	0.29±0.08	0.66±0.19	0.26	28±7	76±20

Inhibition value are expressed as percentage of each length of the control.

Table 8-2 Allelopathic impact factor and its factor.

Doner plants	Japanese name	Root Inhibition(%)	Leaf Inhibition(%)	S/R ratio	L/R ratio	LAR	Impact factor-1	Impact factor-2	Impact factor-3
<i>Sicyos angulatus</i>	アレチウリ	47±13	37	5.1±1.2	2.4	34.7	3.71	2.03	22.38
<i>Ambrosia trifida</i>	オオブタクサ	19±3	28	1.7±0.4	0.9	22.8	2.02	1.46	17.36
<i>Humulus japonicus</i>	カナムグラ	15±3	39	3.9±0.6	2.0	41.0	3.25	2.07	25.88
<i>Helianthus tuberosus</i>	キクイモ	39±3	42	2.5±0.2	1.5	21.1	2.04	1.48	12.83
<i>Chenopodium album</i>	シロザ	20±3	28	2.4±0.7	0.9	16.0	2.50	1.45	12.35

Inhibition value are expressed as percentage of each length of the control.

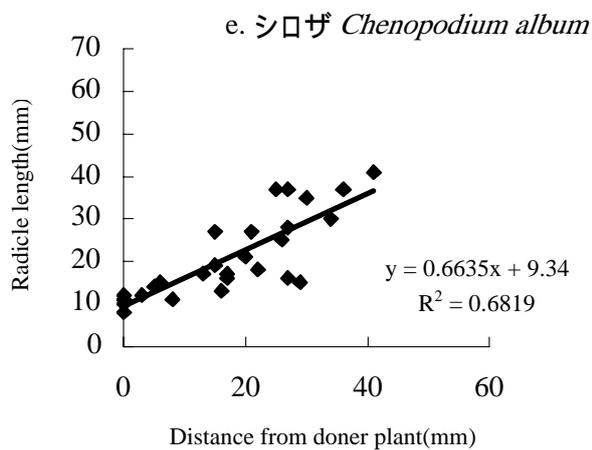
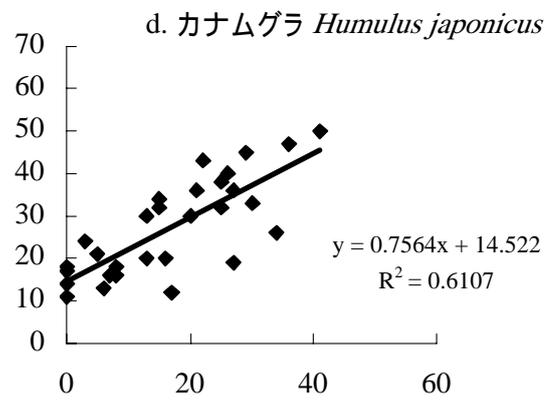
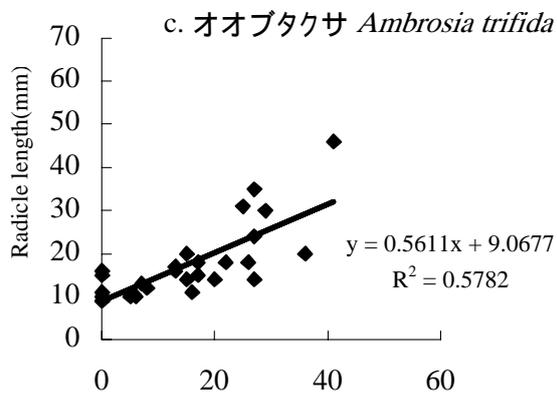
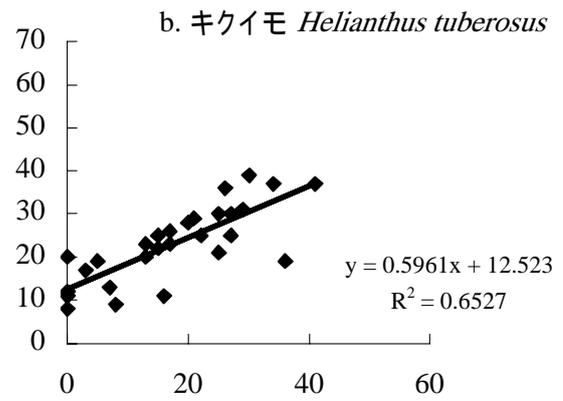
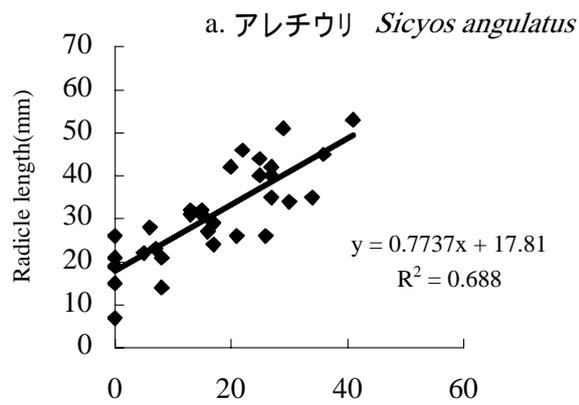


Fig. 8-1. Distance from root of doner plants and radicle length of lettuce tested by plantbox method.
(a: *Sicyos angulatus*, b: *Helianthus tuberosus*, c: *Ambrosia trifida*, d: *Humulus japonicus*, e: *Chenopodium album*)

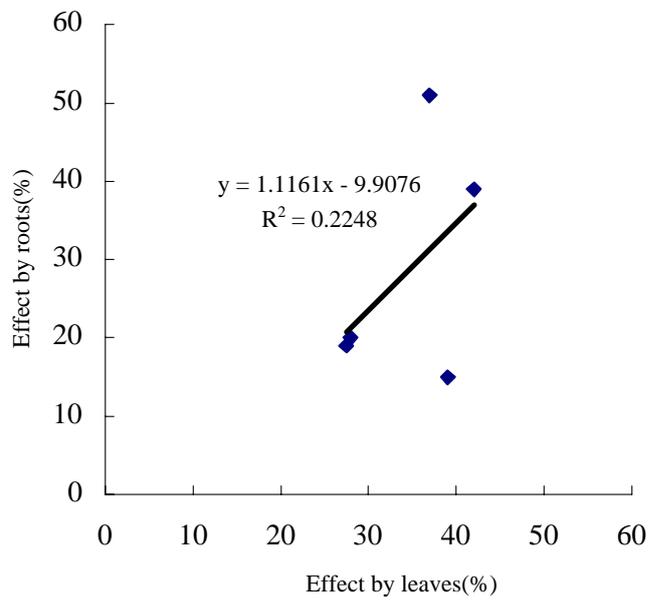


Fig. 8-2. Distribution of radicle elongation affected by dry leaves and root from the plants.

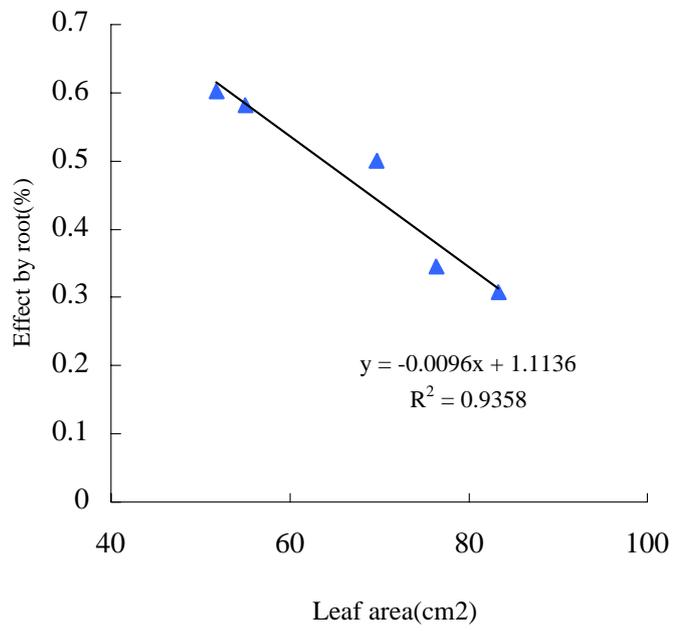


Fig. 8-3. Effect by root exudation from *Sicyos angulatus* and its leaf area.

Table 9-1. Radicle and hypocotyl elongation of lettuce grown on various pH agar gel containing dry Robinia Pseudo-acacia leaves. (Value are % of each control)

Leaf weight		pH 4	pH 5.6	pH 7	pH 9	Normal
1mg	Radicle	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	75.1
	Hypocotyl	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	84.1
5mg	Radicle	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	71.2
	Hypocotyl	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	86.6
10mg	Radicle	75.4	63.9	74.2	73.9	60.8
	Hypocotyl	107.5	80.4	89.0	82.4	87.8
50mg	Radicle	58.1	28.8	45.8	31.1	29.8
	Hypocotyl	98.0	66.3	77.5	64.4	74.4

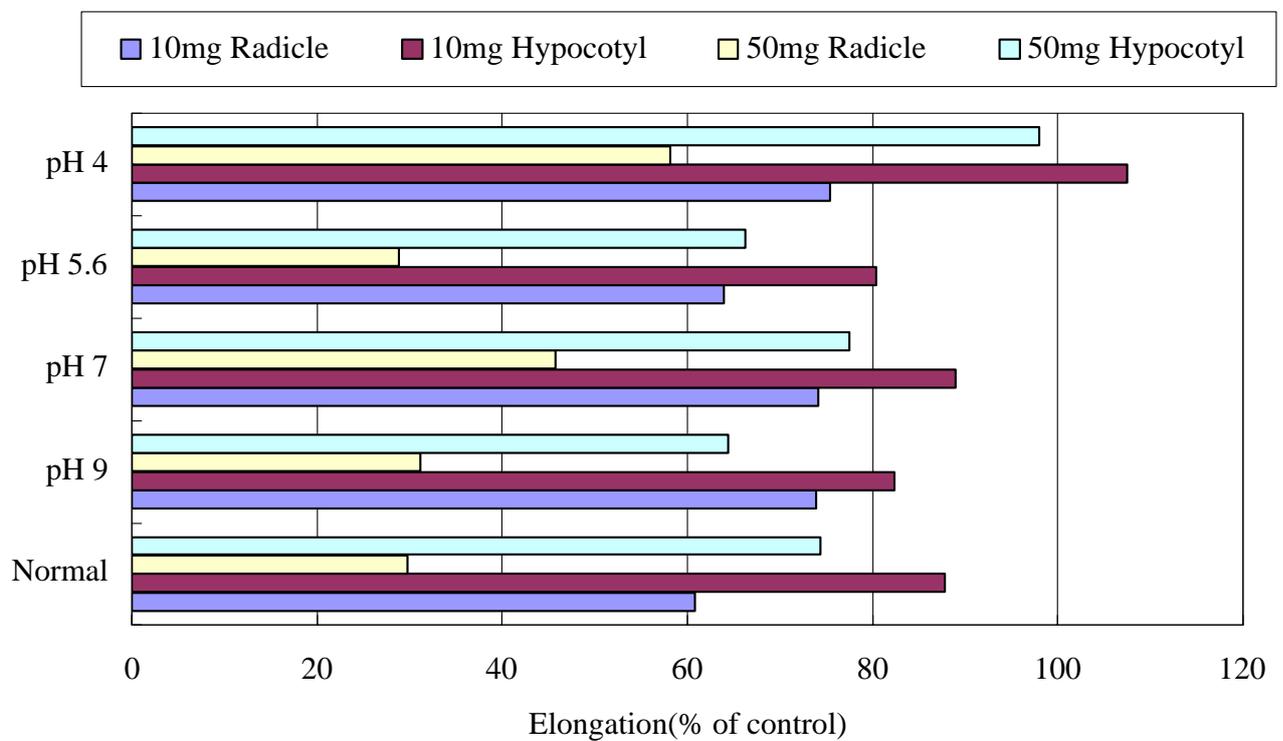


Fig. 9-1. Radicle and Hypocotyl elongation of lettuce grown on various pH agar gel containing dry *Robinia pseudo-acacia* leaves.

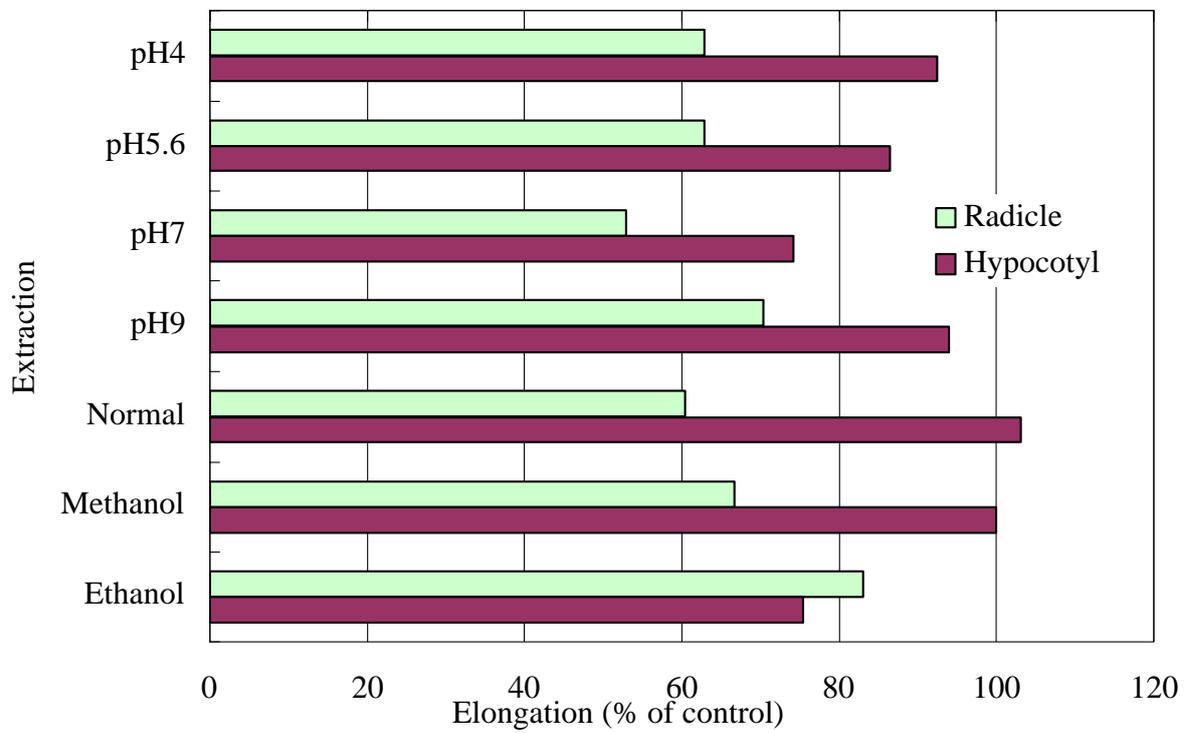


Fig. 9-2. Effect of various exudate from dry leaf of *Robinia pseudo-acacia* on the radicle and hypocotyl elongation of lettuce.

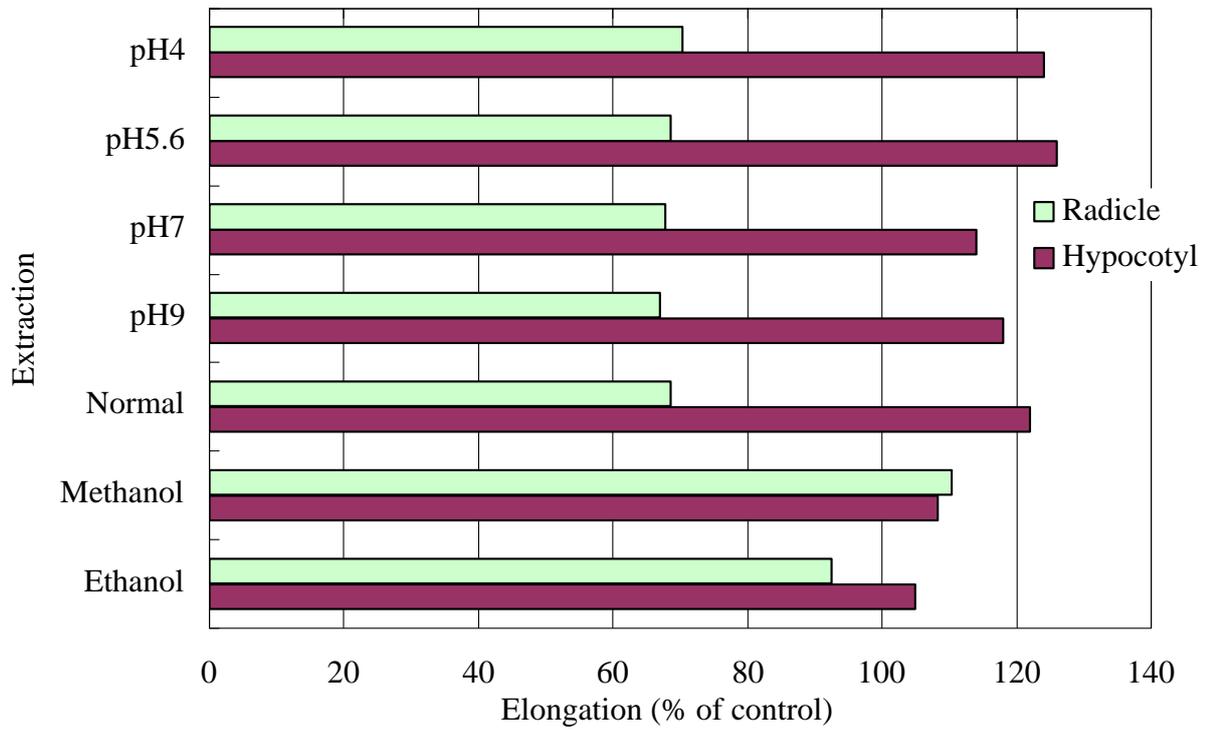


Fig. 9-3. Effect of various exudate from dry leaf of *Ambrosia trifida* on the radicle and hypocotyl elongation of lettuce.

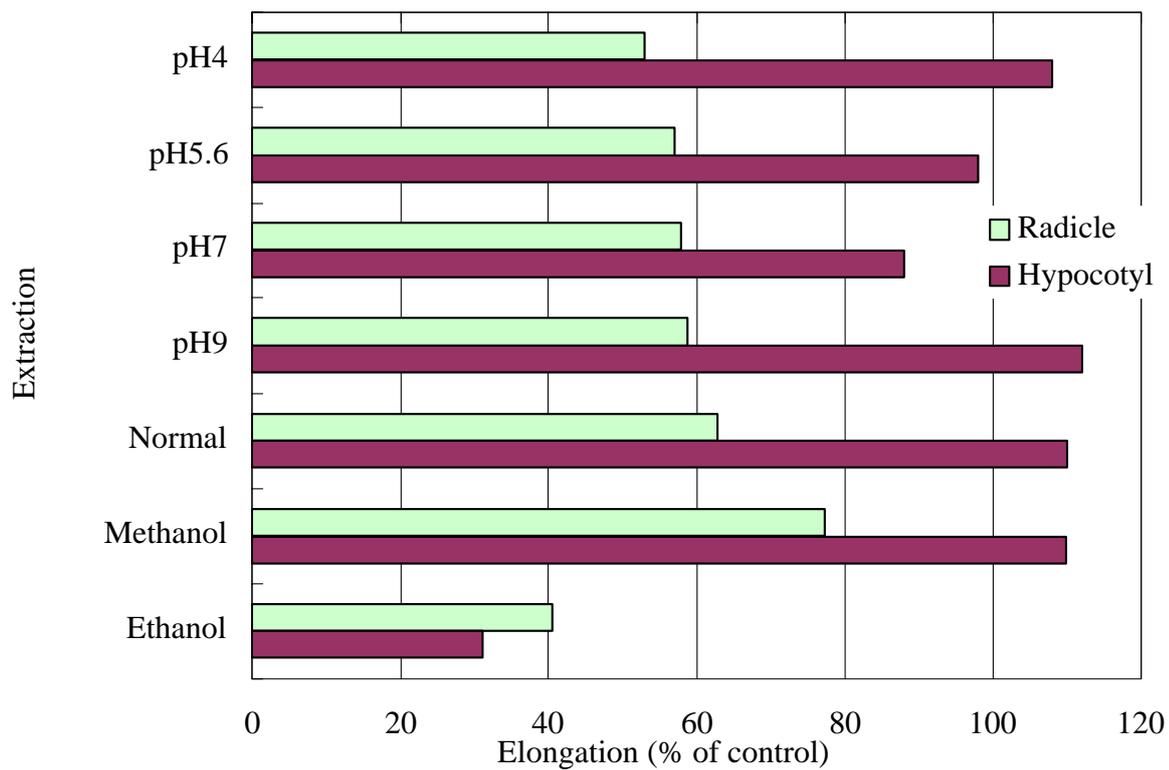


Fig. 9-4. Effect of various exudate from dry leaf of *Oenothera biennis* on the radicle and hypocotyl elongation of lettuce.

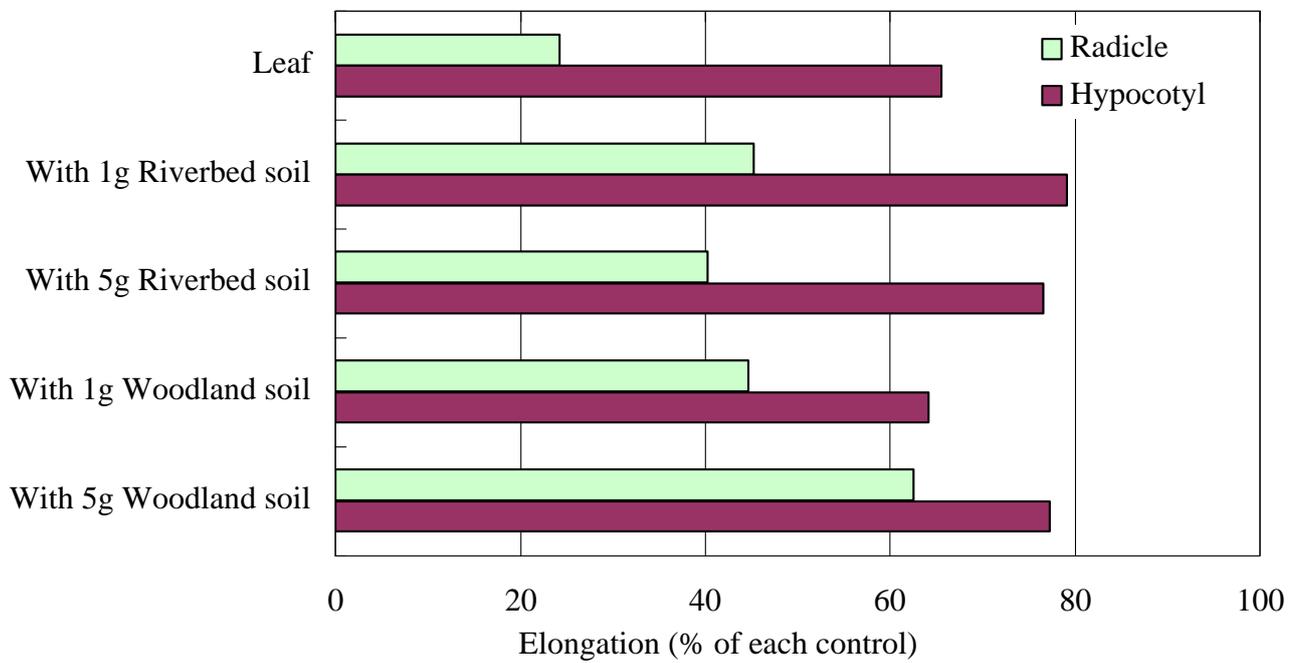


Fig. 9-5. Radicle and hypocotyl elongation on agr gel containing dry soil and dry *Robinia pseudo-acacia* leaves.

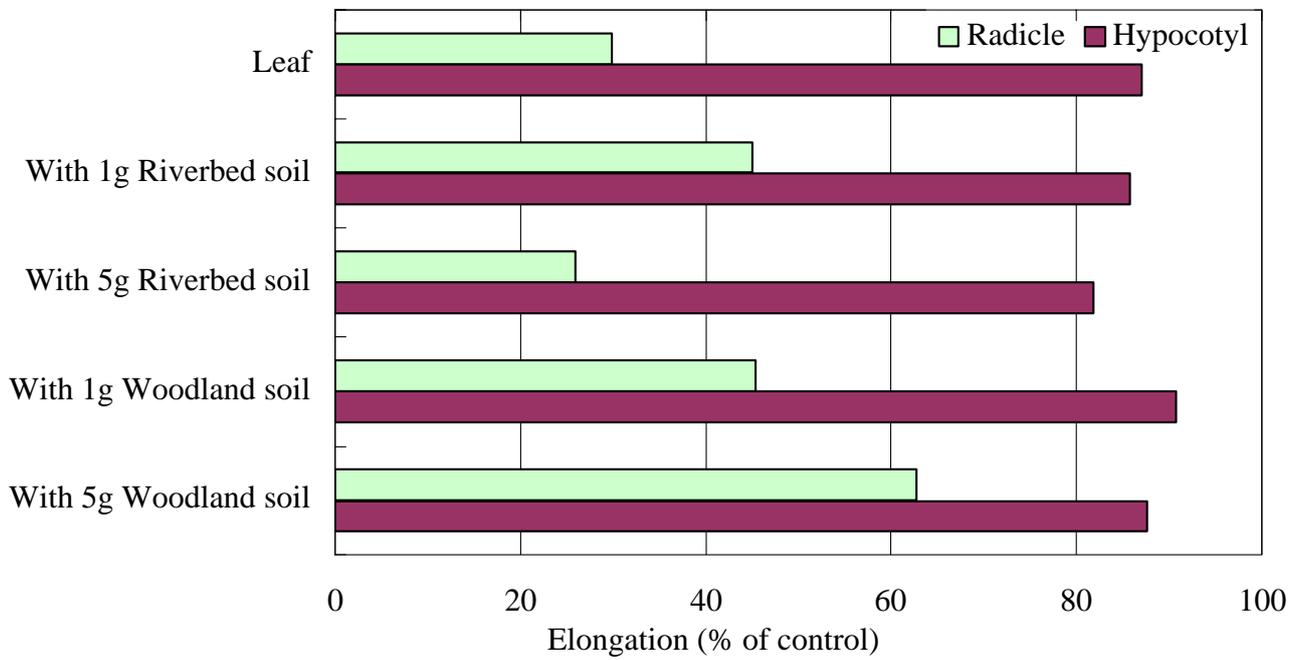


Fig. 9-6. Radicle and hypocotyl elongation on agr gel containing dry soil and dry *Ambrosia trifida* leaves.

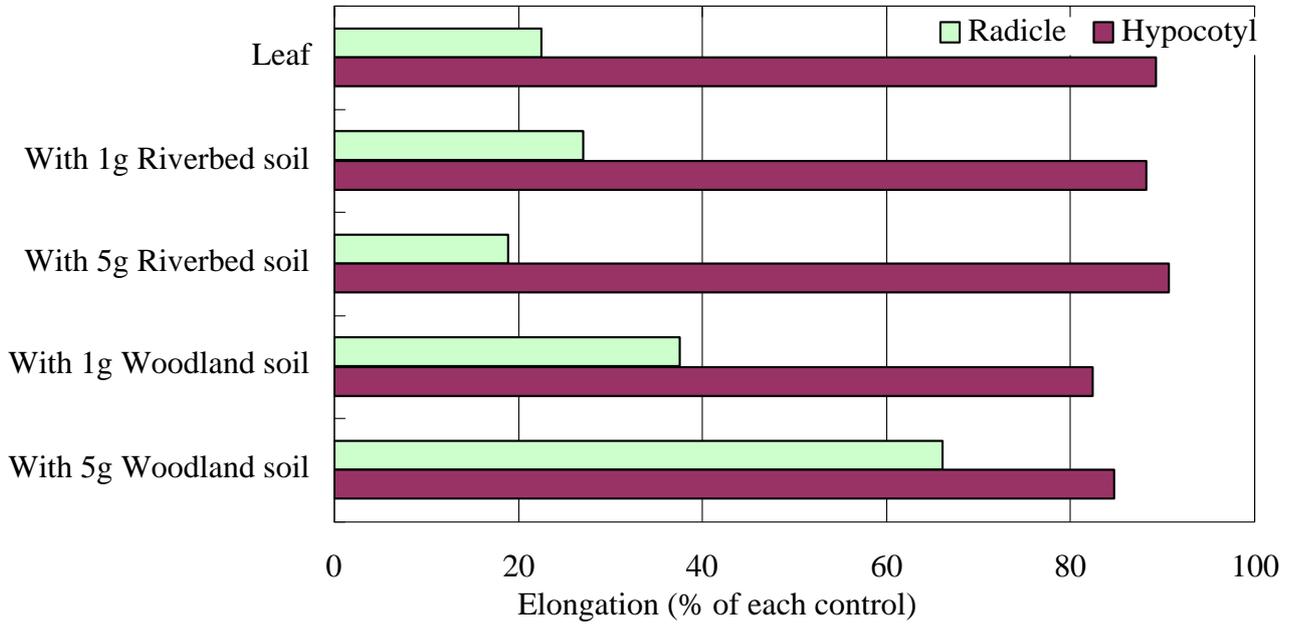


Fig. 9-7. Radicle and hypocotyl elongation on agr gel containing dry soil and dry *Oenothera biennis* leaves.

「^た多^ま摩^が川^わ河^か川^{せん}敷^し敷^きの^し植^せ生^い遷^{せん}移^いにおける^{せい}生存^{ぞん}戦^{せん}略^{りゃく}としての^あアレ^ろパ^{シー}の^{かん}関^よ与^り」

(研究助成・学術研究 VOL.33-NO.244)

著 者 ^{わた}渡^な邊 ^い泉^ずみ

発行日 2005年3月31日

発行者 財団法人 とうきゅう環境浄化財団

〒150-0002

東京都渋谷区渋谷1-16-14 (渋谷地下鉄ビル内)

TEL (03) 3400-9142

FAX (03) 3400-9141