

コミュニケーション

— 植物の場合 —

呉大学看護学部
東中須 恵 子

論文要旨 種々の植物を用いて、発芽過程において植物相互間で繰り返られる化学的コミュニケーションについて研究を行った。エンドウの発芽種子から放出される分泌物が他の植物の成長を阻害することが分かった。クレソ種子の成長を阻害する活性をもつアレロパシー物質をエンドウの発芽種子分泌物から単離し、 ^1H NMR スペクトルからピサチンであることを明らかにした。エンドウ発芽種子の分泌物に含まれるピサチン量がクレソの成長を阻害するのに必要なピサチン濃度と良く一致していたことから、ピサチンがエンドウの発芽過程で示される攻撃的なアレロパシーに重要な役割を演じていることが示唆された。一方、ゴボウ種子を他の植物と混植した場合、相手の植物、特にケイトウの胚軸の成長を促進することが分かった。ケイトウの胚軸の成長を顕著に促進する、友好的アレロパシー物質を二種類、ゴボウの発芽種子分泌物から単離した。それらは ^1H および ^{13}C NMR や EIMS のスペクトルから、アークチゲニン酸とアークチゲニンであることが判明した。ゴボウの発芽種子分泌物におけるこれらの物質の含量が分泌物の生物活性と良い相関を示したことから、アークチゲニン酸とアークチゲニンはゴボウの種子発芽過程において繰り返られる友好的アレロパシーに重要な役割を演じていることが示唆された。

キーワード：アークチゲニン，化学的コミュニケーション，植物間相互作用，ピサチン

■ はじめに

数年前、私はある一冊の書物に出会った。植物に声をかけると成長が促進されるなど、植物の不思議について解説されている書物であった。特に興味深かったのが、入院治療を受けている精神障害者のアメニティと植物との関係について論じられている章であった。1階の入院患者と3階の入院患者の入院日数を比較すると、3階に入院している患者より1階に入院している患者の方が社会復帰が早かったというものであった。病気の回復に影響を与えているのが、院庭に植樹されている植物ではないかと考察されていた。森林に香るテルペン系物質（フィトンチッド）を吸うと精神が集中したり、自律神経系が活発になると言われている。植物を見ることで心が休まり、落ちついた気分になることから植物には人を安らかにして

くれる力があるようだ。しかし、植物自体はどのようにして相手の植物と共存しているのだろうか。人と人との共存にはコミュニケーションが不可欠であるが、植物間も共存のためコミュニケーションを発信しているのではないだろうか。こうした疑問が私を研究へ導いてくれた。

コミュニケーション (communication) とは、英英辞典 (Oxford University Press 第2版, 2002) では the act of sharing or exchanging information, ideas or feelings と書かれている。また、広辞苑 (岩波書店, 第4版, 1994) ではコミュニケーションとは、「社会生活を営む人間の間に行われる知覚、感情、思考の伝達。言語、文字その他視覚、聴覚に訴える各種のものを媒体とする。動物個体間での、身振りや音声、匂いなどによる情報の伝達。細胞間の物質の伝達または移動。細胞間コミュニケーション。」と記述されている。

ひがしなかつ けいこ

〒737-0004 呉市阿賀南2-10-3 呉大学看護学部

人間に限って言えば、コミュニケーションは人と人の関係づくりに重要な役割を持ち、人間社会に必要不可欠な手段であると言える。受け手と送り手が共通の媒体について主に言葉や態度でやり取りをすることで、人と人との関係が深まり、社会を形成していくと考えられる。しかし、その社会において自己の存在の認識や喜怒哀楽の表現、意思の伝達を苦手としている人が心を病む人と言える。ある出来事が不安やストレスに発展し、客観的に自己を見ることができなくなっているということが考えられる。精神科医療現場においては、こうした病的体験を持つ患者に対して援助する専門識者それぞれが、チームの一員としての自覚を持ち、心を病む人の心が破綻した時、また社会復帰の時期それぞれに適切な援助を行っている。心を病む人には言語的コミュニケーションよりむしろ、自己の感情を表出するための準備期間が持てる非言語的コミュニケーションの活用が重要である。

植物相互間で交わされるコミュニケーションを分子レベルから研究を行い、植物種子の発芽過程で相手植物の生育を阻害したり、促進したりする化学物質が放出される生物機能を見出し、それらの原因物質の本体も明らかにした^{6,8,9,10)}ので、ここに紹介する。

■ 植物相互間におけるコミュニケーション

植物は自らの意志によって生活の場所を変えることができないので、光・温度・水などの無機的環境の他に、周りの生物などの有機的環境にも鋭敏に感応し、自らの生命の維持や種の繁栄を図っていると考えられている。植物の体から周りの環境に分泌・放出されたり、植物遺体の分解によって土壤に放出される化学物質が、生物情報

(本稿では化学的コミュニケーションとする)として他の植物や微生物の成長・増殖に何らかの影響(阻害あるいは促進)を与える場合、これをアレロパシー (allelopathy) という¹⁴⁾ (図1)。アレロパシーを最初に定義したのは植物学者の H. Misch (1937) で、alleo は“相互の”, pathy は“感じる”を意味する。クログルミの木の下には植物が生えにくい、クログルミの葉や果実に含まれる 1, 4, 5-trihydroxynaphthalene の配糖体が、降雨や落葉・落下によって土壤中に放出され、微生物の作用で加水分解を受け、更に空気中の酸素で参加されて強い発芽阻害活性を示す 5-hydroxynaphthoquinone (juglone) になり、この物質が他の植物の侵入を妨害しクログルミの木本体を守っているからと考えられている^{2,16)}。この他に、セイタカアワダチソウから 2-cis-dehydromatricaria ester¹¹⁾ が、アカマツから p = coumaric acid¹³⁾ などが、自己防御物質として明らかにされている。一方、他の植物に促進的(友好的)に働く例も幾つか知られている。ソラマメとトウモロコシ、ルーピンとソバなどである¹⁵⁾ が、その原因物質の本体はまだ明らかではない。これらの植物相互間で交わされる化学的コミュニケーションに関する研究の殆どが成熟した植物が対象であり、外界の環境因子の影響を最も受けやすい、例えば人間の胎児期や乳幼児期に匹敵する植物の発生初期過程(種子発芽過程)における植物相互間で展開される化学的コミュニケーションに関する報告は少ない^{4,12)}。クレスの発芽種子から分泌・放出される成長促進的コミュニケーション分子として lepidimoide⁴⁾ が、スイカの発芽種子から成長阻害的コミュニケーション分子として vanillic acid¹²⁾ などが発見されているだけである。また、様々な植物種子を用いて種子

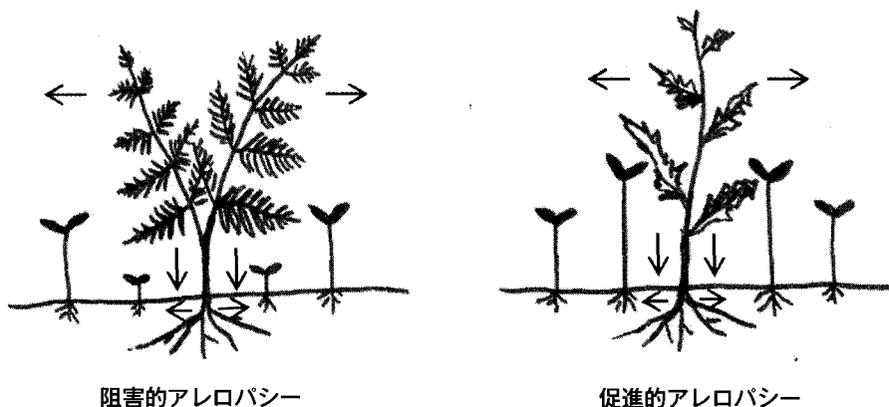


図1 アレロパシー

表1 植物相互間におけるアレロパシー⁸⁾

Donor plant	Shoot growth of acceptor plant (mm)						
	Oat	Wheat	Pea	Red clover	Radish	Burdock	Cockscomb
None	8.6±0.7(100)	23.3±2.4(100)	24.2±2.0(100)	31.7±3.9(100)	31.5±2.8(100)	5.8±0.4(100)	5.8±0.5(100)
Oat	8.1±0.8(94)	22.4±2.3(96)	20.6±1.9(85)	20.8±2.1**(66)	32.9±2.3(104)	5.7±0.4(98)	11.7±1.4**(202)
Wheat	9.5±0.6(110)	25.5±2.6(109)	21.4±1.0(88)	26.6±3.8(84)	37.0±2.4*(117)	6.7±0.6(116)	9.0±0.4**(155)
Pea	5.6±1.6**(65)	17.0±1.6**(73)	19.0±1.9**(79)	20.3±2.8**(64)	19.9±2.0**(63)	5.4±0.5(93)	9.9±1.0**(171)
Red clover	8.4±0.8(98)	19.3±2.0(83)	27.4±2.9(113)	29.8±2.0(94)	32.7±3.1(104)	5.0±0.6(86)	6.6±0.6(114)
Radish	9.0±1.3(105)	23.8±2.4(102)	21.9±1.1(90)	19.7±2.2**(62)	30.6±2.0(97)	6.1±0.5(105)	7.1±0.4**(122)
Burdock	11.3±0.8**(131)	25.8±2.4(111)	18.8±1.8**(49)	35.7±4.3(113)	37.4±2.2**(119)	5.9±0.5(102)	12.2±0.8**(210)
Cockscomb	7.5±0.6(87)	24.7±3.2(106)	22.6±2.1(83)	29.5±3.6(93)	31.3±3.1(99)	5.7±0.3(98)	6.0±0.5(103)

Donor plant	Root growth of acceptor plant (mm)						
	Oat	Wheat	Pea	Red clover	Radish	Burdock	Cockscomb
None	38.5±3.4(100)	45.6±4.0(100)	43.8±2.8(100)	13.2±1.7(100)	60.2±3.9(100)	15.7±1.5(100)	18.8±1.1(100)
Oat	35.4±4.3(92)	41.4±4.7(91)	39.8±3.1(91)	11.2±1.3(85)	57.4±5.1(95)	15.3±1.5(97)	12.9±1.3**(69)
Wheat	40.4±4.3(105)	49.9±4.8(109)	40.8±1.5(93)	11.1±1.2(84)	59.1±5.1(96)	16.1±1.6(103)	13.0±1.0**(69)
Pea	19.8±3.8**(61)	24.6±3.1**(54)	29.0±4.3**(66)	10.3±1.6(78)	24.1±3.7**(40)	15.2±1.4(97)	6.5±0.8**(35)
Red clover	22.7±3.1**(59)	41.3±3.9(91)	44.5±4.7(102)	12.6±1.3(95)	53.2±4.2(88)	13.6±1.5(87)	12.7±1.8**(66)
Radish	46.2±3.5**(120)	42.8±5.0(94)	39.9±1.8(91)	11.0±0.9(83)	57.3±5.5(95)	15.8±1.7(101)	9.4±1.4**(50)
Burdock	50.4±3.1**(131)	58.6±5.4**(129)	41.2±3.1(94)	14.4±2.3(109)	69.6±3.3**(116)	15.6±1.7(99)	14.6±1.1**(78)
Cockscomb	52.0±1.6**(135)	47.6±5.2(104)	40.1±3.5(92)	10.5±2.0(80)	62.5±4.5(104)	15.4±0.9(98)	19.0±3.4(101)

Each value shows the growth of the shoots and roots of the acceptor plant (10 seeds) cultured together with the donor plant (10 seeds). Data represent mean ± SE of six independent experiments. Values in parentheses indicate the percentage of the control (acceptor plant). *Significant at the 0.05 probability level, and ** significant at the 0.01 probability level, according to the Mann-Whitney U-test.

発芽過程における植物間で繰り広げられるコミュニケーションを研究した例はない。

そこで、本研究では種子発芽過程に対象を絞り、イネ科植物としてエンバクとコムギ、マメ科植物としてエンドウ、アカクロバー、アブラナ科植物としてダイコン、キク科植物としてゴボウ、ヒユ科植物としてケイトウの5科7種の植物種子を用いて研究を行った。30分間1% sodium hypochlorite で殺菌し、蒸留水で水洗後、10粒ずつを2mlの蒸留水で湿らせた濾紙上(9cm シャーレ)に置き、23℃暗黒下で培養した。4日後、各芽生えのシュートと根の長さを測定した。

表1に示されるように、植物種子の組み合わせによって様々な植物間相互作用が見られたが、特徴的な相互作用が観察された植物はエンドウとゴボウであった。エンドウはソバのシュート、アカクロバーとゴボウの根の成長を除いて多くの植物のシュートと根の成長を強く阻害した。また、エンドウ以外の植物は培養の密度を多くしても成長に影響が見られなかったが、エンドウの場合は高密度にするとそれ自身の成長が阻害されることも観察された。一方、ゴボウはエンバクのシュートと根、コムギの根、ダイコンのシュートと根、ケイトウのシュートの成長を促進し、特にケイトウのシュートに対する促進作用は対照の2.1倍と極めて高い値を示した。ただし、ゴボウはエンドウ

ウのシュートとケイトウの根の成長を阻害することも観察された。

これらの結果から、実験に用いた2科7種の植物間相互作用は、混植した植物の組み合わせによって相手植物の成長に対する効果が異なることが分かった。また、エンドウ、アカクロバー、ダイコン、ゴボウやケイトウといった双子葉植物と、エンバクやコムギといった単子葉植物の間には明確な相互作用は見られなかった⁹⁾。2種類ずつの混植で示された植物間相互作用が、それぞれの植物種子から放出される化学物質によるものか、あるいは植物種子の接触など他の要因によるものかどうかを明らかにするために、それぞれの種子から放出される分泌液の生理活性を調べた。

■ 植物相互間のコミュニケーションは植物から放出される化学物質に起因するのか？

種々の植物種子をシャーレ中で2日間培養後、発芽種子を除いた培養液(種子分泌液)の生理活性を調べた。表2に示すように、程度の差はあるものの、表1の結果と良く一致していた。従って、本研究で用いた植物種子の混植における植物間相互作用は、種子発芽過程においてそれぞれの種子から分泌・放出される化学物質によることが明らかになった⁸⁾。

表2 種子分泌液の生理作用⁸⁾

Donor exudates	Shoot growth of acceptor plant (mm)						
	Oat	Wheat	Pea	Red clover	Radish	Burdock	Cockscomb
None	8.6±2.0(100)	24.7±2.9(100)	30.4±2.1(100)	28.8±3.2(100)	34.2±2.0(100)	5.2±0.4(100)	5.5±0.5(100)
Oat	9.3±1.0(108)	23.5±1.3(95)	27.4±2.6(90)	19.5±2.3**(68)	36.2±1.8(106)	5.1±0.4(98)	10.6±1.3**(193)
Wheat	9.9±1.0(115)	24.0±2.7(97)	29.7±2.2(98)	26.0±3.1(90)	36.7±2.0(113)	5.6±0.3(106)	8.8±0.7**(160)
Pea	5.6±0.8**(65)	18.6±2.0**(75)	22.1±1.9**(73)	16.0±2.1**(56)	27.1±3.6**(79)	5.7±0.6(110)	8.0±0.9**(145)
Red clover	8.0±0.7(93)	20.4±2.0(83)	29.8±2.9(98)	26.5±2.6(92)	35.0±4.0(102)	4.9±0.5(94)	6.8±0.8(124)
Radish	9.2±0.9(107)	22.6±3.0(91)	28.5±2.3(94)	18.0±1.9**(63)	35.2±4.8(103)	5.4±0.4(104)	7.7±1.0**(140)
Burdock	11.0±2.3(128)	25.7±2.0(104)	25.0±2.0**(82)	28.0±2.9(97)	40.7±2.7**(119)	5.5±0.5(106)	10.7±0.7**(195)
Cockscomb	9.4±1.4(109)	22.7±3.3(92)	32.4±3.5(107)	25.7±3.2(89)	33.7±1.5(99)	5.9±0.5(113)	6.0±0.9(109)

Donor exudates	Root growth of acceptor plant (mm)						
	Oat	Wheat	Pea	Red clover	Radish	Burdock	Cockscomb
None	40.5±4.6(100)	46.2±4.0(100)	46.2±4.7(100)	6.1±1.2(100)	60.8±4.7(100)	15.9±1.6(100)	21.8±1.2(100)
Oat	37.2±4.2(92)	43.2±4.1(94)	44.7±5.5(97)	6.1±0.9(75)	66.5±4.8(109)	15.5±1.3(97)	17.6±1.3**(92)
Wheat	42.0±3.4(104)	50.4±5.9(109)	41.9±2.2(91)	7.3±0.8(90)	58.3±3.0(96)	15.0±1.4(94)	14.6±2.0**(67)
Pea	30.5±3.3**(75)	36.0±4.6**(78)	27.4±4.3**(69)	6.2±0.9(77)	50.4±3.8**(83)	14.9±1.4(94)	15.1±2.1**(69)
Red clover	30.1±2.9**(74)	41.8±4.0(90)	47.3±3.1(102)	6.2±0.8(77)	56.2±4.1(92)	13.0±1.5**(82)	14.9±1.5**(68)
Radish	48.9±3.1**(121)	44.6±5.9(97)	41.0±5.4(89)	8.1±1.1(100)	63.1±4.9(104)	17.2±2.0(108)	17.9±2.9(82)
Burdock	52.5±3.2**(130)	55.1±3.7**(119)	42.6±3.8(92)	7.4±1.0(91)	70.7±4.6**(116)	15.2±1.8(96)	18.3±1.2(84)
Cockscomb	49.3±3.0**(122)	49.9±5.2(108)	45.1±4.5(98)	7.9±0.9(98)	60.1±6.9(99)	17.0±1.7(107)	19.0±2.3(87)

Each value is the mean of six independent experiments ± SE. Values in parentheses indicate the percentage of the control (acceptor plant). **Significant at the 0.01 probability level according to the Mann-Whitney U-test.

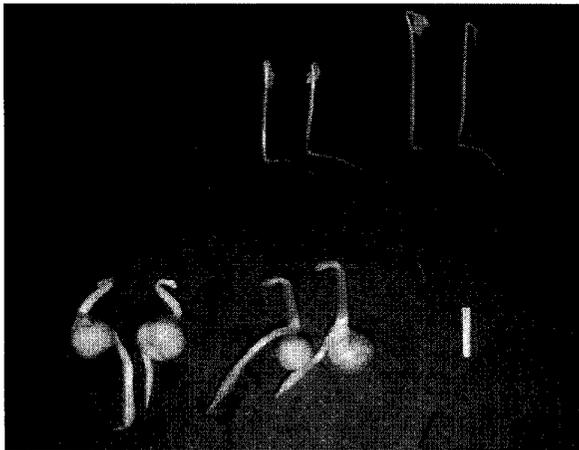


図2 エンドウ種子とクレス種子の混植^{4,6)}

左：エンドウ種子 中央：エンドウ種子（下）とクレス種子（上）の混植 右：クレス種子
エンドウ種子との混植でクレス芽生えの成長が抑制された。

次に、これらの植物間相互作用（化学的コミュニケーション）のメカニズムを解析するためには、化学的コミュニケーションを制御するコミュニケーション分子の本体を解明することが重要であると考え、強い阻害的コミュニケーション活性を示したエンドウ（図2）⁹⁾と強い促進的コミュニケーション活性を示したゴボウ（図3）¹⁰⁾について着目し、以下の研究を行った。

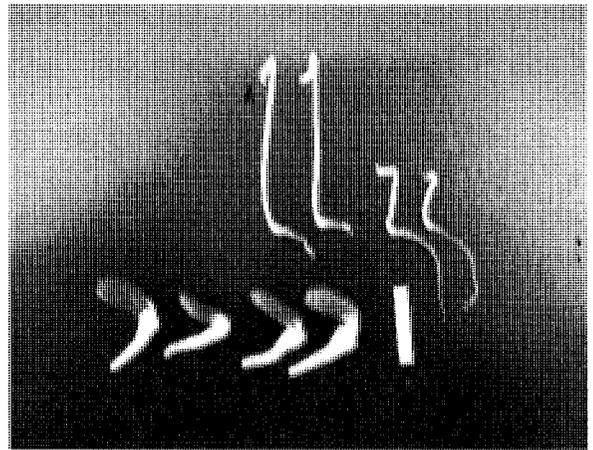


図3 ゴボウ種子とケイトウ種子の混植^{4,9)}

左：ゴボウ種子 中央：ゴボウ種子（下）とケイトウ種子（上）の混植 右：ケイトウ種子
ゴボウ種子との混植でケイトウ芽生えの成長が促進された。

■ 相手植物を攻撃するコミュニケーション分子の正体

阻害的コミュニケーション分子の化学構造を解明する目的で約800粒のエンドウ種子を殺菌・水洗後、ステンレスのトレイ（40×40×5cm³）にステンレスの金網（3mmメッシュ）を敷き、その上に湿ったエンドウ種子を並べ、蒸留水（1.3ℓ）をエンドウ種子が半分位漬かるように加えた。23℃暗所で3日間培養した。培養液は毎日回収し、その都度新鮮な蒸留水を加えた。1, 2, 3日

目の培養液を合わせ、濾過後減圧下で濃縮し、濃縮物をメタノール可溶画分と不溶画分に分けた。生物検定はクレス根成長試験を用い、成長阻害活性の見られたメタノール可溶画分をC18セツバックラムを用いて精製した。最も強い阻害活性を示したメタノール100%溶出画分を濃縮後、HPLC (Develosil C30-UG-5, Nomura Chemical Co., Ltd., 0×250mm, 0-20分; 蒸留水中のアセトニトリル濃度0%から100%までの直線濃度勾配, 以後100%アセトニトリルで溶出, 流速2ml/min, 検出は205nm) に供した。

成長阻害活性が保持時間19分から19.2分のピークに認められたので、この画分を濃縮し、2.5mgの単一物質を得た。¹H NMR スペクトル (データ, 省略) から6a-hydroxy-3-methoxy-8, 9-methylenedioxypterocarpan (pisatin) (図4) であることが明らかになった⁹⁾。ピサチンは既にエンドウの鞘から抗菌活性物質として単離・同定されている^{1,3)}。しかし、ピサチンがエンドウ種子発芽過程で見られる阻害的アレロパシーに関与しているという報告は初めてである⁹⁾。クレス根成長試験を用いてピサチンの生理活性を調べたところ3mg/ℓ以上の濃度で成長阻害活性を示した⁹⁾。

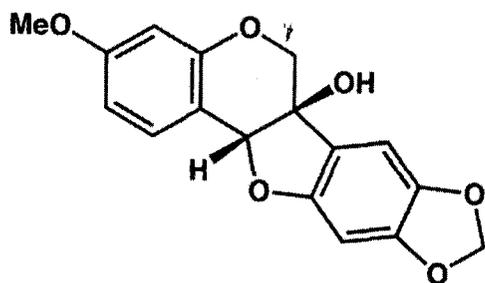


図4 攻撃的コミュニケーション分子 Pisatin^{4,6)}

次に、エンドウ種子の阻害的アレロパシーにおけるピサチンの役割を明らかにするために、エンドウ種子分泌液におけるピサチン量を機器分析 (HPLC) と生物検定 (クレス根成長試験) を用いて定量した。機器分析で測定したところ、エンドウの発芽種子から放出されるピサチン量は培養1日目で3.3mg/ℓ, 2日目で14.2mg/ℓ, 3日目で22.2mg/ℓ, 4日目で9.1mg/ℓであった。これらの結果は生物検定によって算出されたピサチン量と良く一致していた。

以上の結果から、エンドウ種子から分泌・放出される分泌液の成長阻害活性は分泌液に存在する

ピサチン量で十分説明できることが明らかになった。同時に、エンドウ種子とクレス種子との混植において、エンドウによって受けたクレス芽生えの成長阻害がエンドウから放出されるピサチンで十分説明できることも明らかになった。つまり、エンドウはピサチンという阻害的コミュニケーションを種子発芽時に放出して、相手植物を攻撃することが明らかになった⁹⁾。

■ 相手植物に友好的に働くコミュニケーション分子の正体

ここでは、顕著な促進的アレロパシー (友好的コミュニケーション) を示したゴボウ種子に着目し、相手植物として最も顕著な促進活性を示したケイトウ種子を用い、ゴボウの発芽種子から放出される友好的コミュニケーション分子の化学構造とケイトウとの友好的コミュニケーションにおける貢献度について研究した。

約13,500粒のゴボウ種子を、エンドウ種子の培養と同様に、3日間培養し、培養液を得た。培養液を濾過後、減圧下で濃縮し、濃縮物をメタノール可溶画分と不溶 (水可溶) 画分に分けた。ケイトウシュートの成長を促進する活性は水可溶画分に認められたので、この画分をC₁₈セツバックラムを用いて水-メタノールの溶媒系で分離したところ、最も強い成長促進活性を示したのは水100%で溶出した画分であった。この画分の濃縮物をHPLC (Amide-80, 7.8×300mm, 0-8分; 85%アセトニトリル, 8-12分; 85%アセトニトリルから100%蒸留水までの直線濃度勾配, 1.5ml/min, 検出波長205nm) に供した。成長促進活性は5.8~8.6分に検出された。

次にこの活性画分をHPLC (amide-80, 7.8×300mm, 85%アセトニトリルで溶出, 1.5ml/min, 検出波長205nm) に供したところ、保持時間3.8~4.2分と5.9~6.2分のピークに成長促進活性が認められた。これらを減圧下で濃縮し、それぞれ1.0mgと1.3mgの単一物質を得た。これらのESI-MS, ¹H NMR および¹³C NMRのスペクトル解析 (データ, 省略) から、前者は arctigenic acid, 後者は arctigenin であることが明らかになった (図5)¹⁰⁾。arctigenin は既にゴボウ種子から抗菌活性物質として単離・同定されている⁵⁾が、arctigenic acid の発見は初めて明らかにした¹⁰⁾。更に、これらの物質が植物の成長を促進する活性

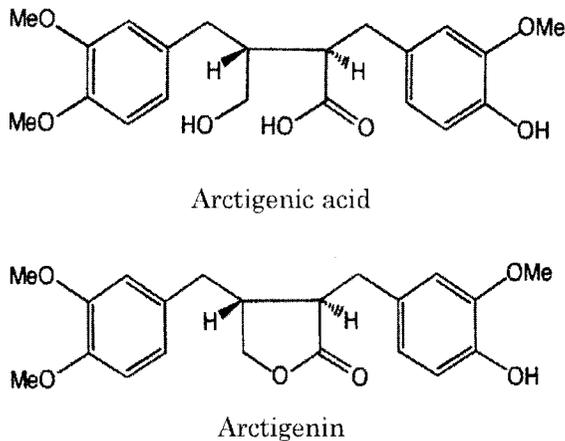


図5 友好的コミュニケーション分子^{4,9)}

(ケイトウシュートの成長を10mg/l以上で促進)を有することを明らかにしたことは初めてである¹⁰⁾。

ゴボウ種子の促進的アレロパシーにおける arctigenic acid 及び arctigenin の役割を明らかにするために、それぞれの量的変動を機器分析 (HPLC) 及び生物検定 (ケイトウシュート成長試験) を用いて調べた。その結果、いずれも培養1日目で培養液中に検出され、2日目で最大になり、それらの量はケイトウシュートの成長を促進するのに十分な量であることが分かった。つまり、これらの物質がケイトウに対するゴボウの友好的コミュニケーション分子として機能していることが強く示唆された¹⁰⁾。

以上の研究から、植物の種子発芽過程で観察される植物相互間コミュニケーションは植物が放出する種特異的な化学物質を介して行われているということが明らかになった。

本研究は、多くの相手植物に対して攻撃的コミュニケーションを示したエンドウと、ケイトウなどの植物に対して友好的コミュニケーションを示したゴボウといった特徴ある二種類の植物を研

究対象として、それぞれの相反するコミュニケーションの形態とそれを制御する種特異的なコミュニケーション分子の正体を明らかにした。しかし、いずれの場合でも、一方の植物から発進されるコミュニケーション分子に対して受け手の植物の反応 (成長) を見たものであって、受け手からのコミュニケーション分子の発進の有無については何も明らかにしていない。相手が発進したコミュニケーション分子に対して、受け手の植物が全く無応答なのか、あるいは独自のコミュニケーション分子を発進させるなど、何らかの応答を示すのかといった問題は今後の重要な研究課題である。

■ おわりに

人間の社会におけるコミュニケーションは、相手とのやり取り、つまり相互間でのコミュニケーションを意味することが一般的である。しかし、対象物を見て、聞いて、触れることによって心的な意図、感情などが芽生え、自身の中で消化される場合もコミュニケーションの範疇に入るのではないだろうか。

植物同士のコミュニケーションは化学物質を介した事象であることが明らかになったが、植物と人間とのコミュニケーションにおいて、化学物質の介在を前提とした場合、植物を育てたり、鑑賞する中で、植物から発散されるガス状の化学物質や植物との接触によって放出される化学物質などがコミュニケーション分子として機能することが考えられる。このような植物とのコミュニケーションの機構が科学的に解析され、精神医療に生かされる日がそう遠くないことを期待したい。

* 以上は、筑波大学大学院生命環境科学研究科博士論文⁶⁾の一部であることを付記する。

引用文献

- 1) Cruickshank, I. A. M. and Perrin, D. R. (1960) Isolation of a phytoalexin from *Pisum sativum* L. Nature 187: 799-800.
- 2) Davis, E. F. (1928) The toxic principle of *Juglans nigra* as identified with synthetic juglone and its toxic effects on tomato and alfalfa plants. Am. J. Bot. 15: 620.
- 3) DeMartinis, C., Mackay, M. F. and Perrin, D. R. (1979) Crystal and molecular structure of pisatin. J. Crystal and Molecular Structure 8: 247-256.
- 4) Hasegawa, K., Mizutani, J., Kosemura, S. and Yamamura, S. (1992) Isolation and identification of lepidimoide, a new allelopathic substance from mucilage of germinating cress seeds. Plant Physiol. 100: 1059-1061.

- 5) Haworth, R. D. and Kelly, W. (1936) The constituents of natural phenolic resins. Part VII. Arctigenin. J. Chem. Soc., Abstr. 998-1003.
- 6) 東中須恵子 (2005年) 種子発芽過程におけるアレロパシー. 筑波大学大学院生命環境科学研究科・博士学位論文 (生物工学) pp.1-86.
- 7) 東中須恵子 (2006年) 第5章 心と心をつなぐコミュニケーション, 多次元のコミュニケーション (長谷川宏司編, 大学教育出版) pp.75-88.
- 8) Higashinakasu, K., Yamada, K., Shigemori, H. and Hasegawa, K. (2004) Effects of seed exudates of several plant species during germination stage. Weed Biology and Management 4: 171-175.
- 9) Higashinakasu, K., Yamada, K., Shigemori, H. and Hasegawa, K. (2005) Isolation and identification of an allelochemical exuded from germinating pea (*Pisum sativum*) seeds. Heterocycles 65: 267-271.
- 10) Higashinakasu, K., Yamada, K., Shigemori, H. and Hasegawa, K. (2005) Isolation and identification of potent stimulatory allelopathic substances exuded from germinating burdock (*Arctium lappa*) seeds. Heterocycles 65: 1431-1437.
- 11) 河津一儀, 中村彰夫, 西野親生, 小清水弘一, 三井哲夫 (1969年) 日本農芸化学会昭和44年度大会講演要旨集 (東京) pp.130.
- 12) Kushima, M., Kakuta, H., Kosemura, S., Yamamura, S., Yamada, K., Yokotani-Tomita, K. and Hasegawa, K. (1998) An allelopathic substance exuded from germinating watermelon seeds, Plant Growth Reg. 25: 1-4.
- 13) Lee, K. and Monsi, M. (1963) Ecological studies on *Pinus densiflora* forest 1. Effect of plant substances on the floristic composition of undergrowth. Bot. Mag. 76: 400-413.
- 14) Molisch, H. (1937) Der Einfluss einer Pflanze auf die andere-Allelopathie. Gustav Fischer Verlag, Jena.
- 15) Rice, E. L. (1984) In "Allelopathy" 2nd ed., p.422, Academic Press, New York.
- 16) Sticky, J. S. and Hoy, P. R. (1881) Toxic action of black walnut. Trans. Wis. State, Hort. Soc. 11: 166-167.