

土壌ダニの鋏角の形態と機能

水谷 勝己¹

要旨

本研究は土壌ダニの食性の違いによって生ずる鋏角の形態と機能の関係をあきらかにしようとするもので、そのことにより手術用マイクロ工具の新たな発想が得られないかとの期待に基づいている。対象としたダニは生物理工学部構内から採取した植物遺体を食べるササラダニおよび小虫を捕食するトゲダニである。両ダニの鋏角の電子顕微鏡観察、鋏角可動指をレバー系とみなしたときの力点と作用点の力比の評価などから以下のことを得た。

- (1) ササラダニの鋏角はペンチ状の外形を呈し、力比が 0.35 程度と大きい。そして、不動指と可動指の噛み合いは丸みを帯びた突起と凹みが対になっている。そのため対象物に弱く作用する時にはつかむ、強く作用する時には砕くのに適している。
- (2) トゲダニの鋏角は鋏状で大きく口開くことが出来るが力比は 0.2 程度と小さい。そして、可動指の先端にかま状突起、中間部に幾つかの鋸歯状突起を持っている。そのため弱く作用する時には突き刺し、強く作用する時にはせん断するのに適している。
- (3) 両ダニの鋏角に共通する特徴的なものとして、鋏角は左右が対になっていること、不動指と可動指に分かれていること、突起があることである。

1. 結論

節足動物門のクモ形綱に属する小さなダニは口器としての鋏角を持っている¹⁾。土壌に生息する種類にあっては落葉や朽木などの植物遺体、線虫などの小虫、カビなどの菌類等を餌としており²⁾、その鋏角は食性に適応して変化し、つかむ・かむ・切る・吸うなどの機能を効果的に発揮しているものと推察される。例えば、日本の冷温帯林の土壌に生息するササラダニ類について食性と鋏角の形状や大きさとの関係が金子によって調べられ、植物遺体食者である大きな鋏角のマクロタイプ、菌類食者の小さな鋏角のミクロタイプ、それら両方を食する鋏角寸法が中間のパンタイプやフラグタイプに分類されること、ミクロタイプやフラグタイプとは異なりマクロタイプやパンタイプの鋏角可動指は幅/長の比が 0.6 以上の幅広形状で力強く作用するのに適していることが明らかにされている³⁾。

上記のつかむ・かむ・切る・吸うなどの機能は手術に用いられる作業工具においても共通する機能である。最近のマイクロサージェリーや内視鏡下手術では術者にとって使い勝手が良く、患者にとって低侵襲性であることが求められており⁴⁾、小さくてつかむ・切るなどの機能を効果的に実現できる作業工具に対する要求が強い。

そこで、生物学的見地のみならず、マイクロ作業工具のための新たな発想を得るのに役立つかもしれないと考え、土壌ダニの食性の違いに着目して鋏角の形態や機能などに関する特徴を明らかにすることとした。

2. 土壌ダニの採取

近畿大学生物理工学部(和歌山県紀の川市)構内の雑木林から落葉、腐葉土などを含む堆積土を採取し、

ツルグレン装置に入れることにより採取土内の小動物を抽出した。ツルグレン装置内では、採取土はふるいの上に置かれており、上方から照らされる白熱灯により光と熱を嫌う土壌内の小動物が下方に移動し、ふるいを抜けて捕集容器内に落下していく。容器内に捕集されたもののうち数多くの存在が認められた図1および図2の2種のダニを調査対象とした。文献と照合すれば、図1はササラダニ亜目のコソデダニ（以下ササラダニと記す）、図2はトゲダニ亜目のホコダニ（以下トゲダニと記す）と推定される⁵⁾。甲虫のような外観のササラダニは落葉などの植物遺体を餌とするダニで、背側から見たところ鋏角は露出していない。また、触肢のようなものを有していない。これに対し、トゲダニは小虫などを餌とする捕食性のダニで、鋏角は前方に露出している。そして、小角や触肢としての最前脚を有している。両ダニとも体長は0.5mm~0.7mmである。

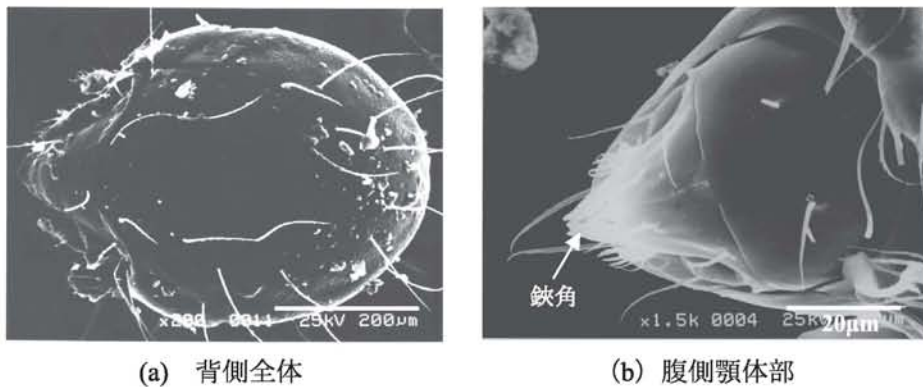


図1 採取したササラダニ

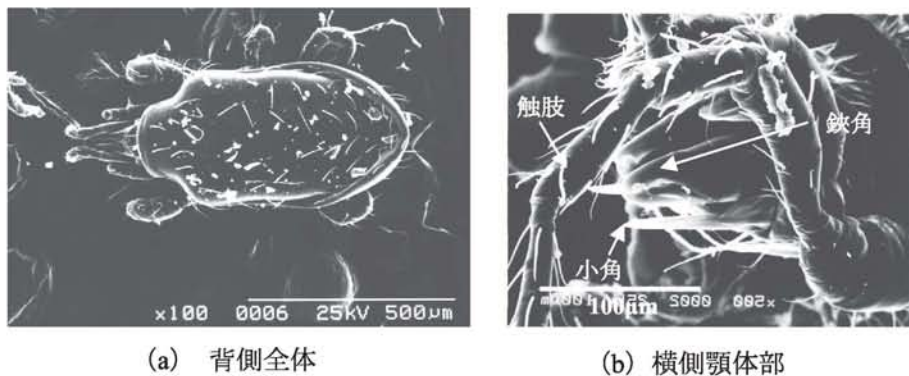


図2 採取したトゲダニ

3. 鋏角の形態

採取したダニを実体顕微鏡下でメスなどを用いて顎体部と胴体部に分離し、顎体部から鋏角を取り出した。鋏角は左右が対になっている。

図3にササラダニの右側鋏角を示す。この例で見られるごとく、ダニの可動指は下側に位置するものである。ササラダニでは可動指・不動指の噛み合う歯部は鋏角の先端部のみで、その部は大きく内側に湾曲している。図4に鋏角先端部の不動指と可動指の噛合を示す。片方が凸の部分は相手側が凹で、うまく噛み合うようになっている。凸状の突起は丸みを帯びており鋭くはない。

図5にトゲダニの右側鋏角を示す。ササラダニのものに比べて細長く、鋏角の根元部、中間部、先端部での様相はそれぞれ異なっている。図6 (a) に先端部を (b) に中間部を示す。可動指の先端部は鎌の先のように、不動指とはかみ合わずその横に入り込ようになっている。また、中間部では鋸歯状の突起が根元に向かって角度をつけ、互いにすりあうように存在しているのが特徴的である。突起はササラダニのもの

のに比べて鋭い。

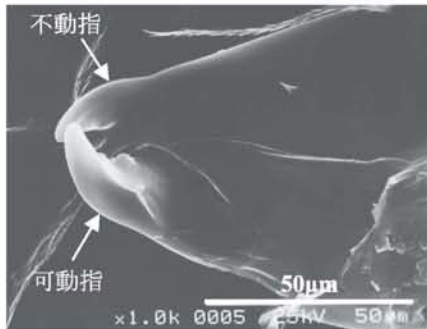


図3 ササラダニの右側鉗角



図4 ササラダニ鉗角先端部

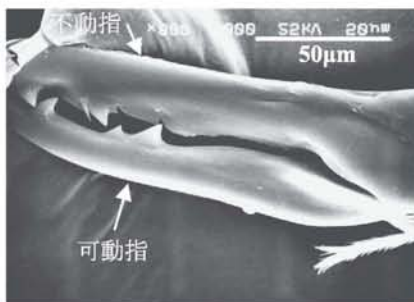


図5 トゲダニの右側鉗角

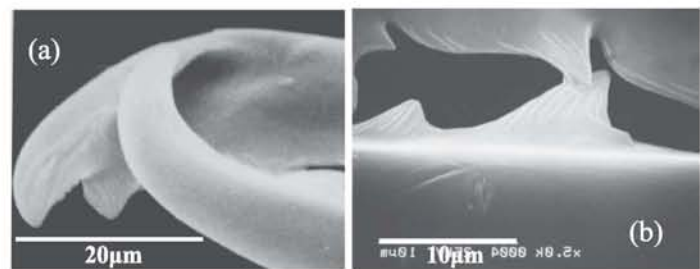


図6 トゲダニの鉗角先端部 (a) および中間部 (b)

4. 鉗角可動指のレバー系としての評価

ササラダニとトゲダニの幾つかの鉗角について、運動を行う可動指に着目して寸法測定を行った。また、可動指は筋肉の収縮によって閉じる構造をしているため、図7に示すカニのはさみと同様なレバー系とみなして（ただし、カニでは可動指は上側に位置する）⁶⁾、力比 F_2/F_1 をレバーの長さ比 L_1/L_2 から $F_2/F_1=L_1/L_2$ として求めた。その際 L_1 は容易に測定できる根元部の幅 L_0 を用いて、幾つかの解剖の結果をもとに $L_1=0.9 L_0$ として求めた。また、参考として先端から $3 \mu\text{m}$ の位置で測定した幅を先端部の幅として求めた。これらの結果を表1に示す。

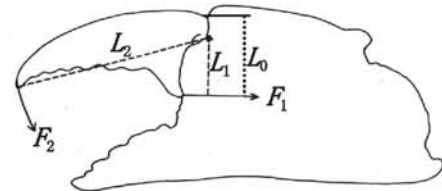


図7 カニのはさみのレバー系

表1 ダニ可動指の寸法

	ササラダニ	トゲダニ
可動指の高さ (L_1) μm	22 (1.8)	23 (4.8)
可動指の長さ (L_2) μm	63 (2.3)	117 (7.9)
力比 (L_1/L_2)	0.35 (0.02)	0.2 (0.03)
可動指先端部の幅 (L_p) μm	8.4 (0.92)	3.9 (0.96)
可動指根元部の幅 (L_0) μm	25 (2.0)	26 (5.3)
試料数	8	16

() 内数値は標準偏差を示す。

また、ダニの鋏角は左右が対になっているがその隙間はトゲダニで $5\mu\text{m}$ から $10\mu\text{m}$ 程度であり狭いものであった。

5. 想定される鋏角の機能の特徴

ササラダニでは、力比が0.35とトゲダニのものに比べて大きい。また、可動指の先端部の幅も比較的大きい。これらと凹凸が互いに噛み合う歯部の形状とをあわせて考えると、ササラダニの鋏角は落ち葉など硬くてもろいものを力強く噛み砕くのに適したものである。

トゲダニでは大きく口開くことが出来るが、力比は0.2と小さい。しかし中間部を作用点とする場合はより大きな力比を得ることが出来ること、歯の噛み合いは鋭いため圧力としては高いことが予想されることから、対象物を突き刺す、部分的には鋏のようにせん断するのに適したものであるといえる。そのようなことを示す例として、図8に小虫の一部を突き刺している鋏角を、図9に鋏角中間部の突起のある部分の断面を示す。突起部はせん断鋏の刃状となっている。

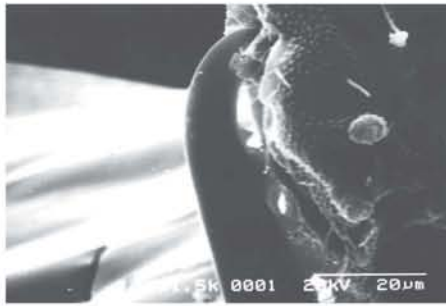


図8 小虫の部分を突き刺すトゲダニ鋏角

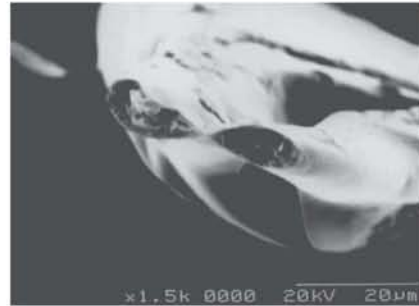


図9 トゲダニ鋏角突起部断面

6. 鋏角と手術用マイクロ鉗子、剪刀との比較

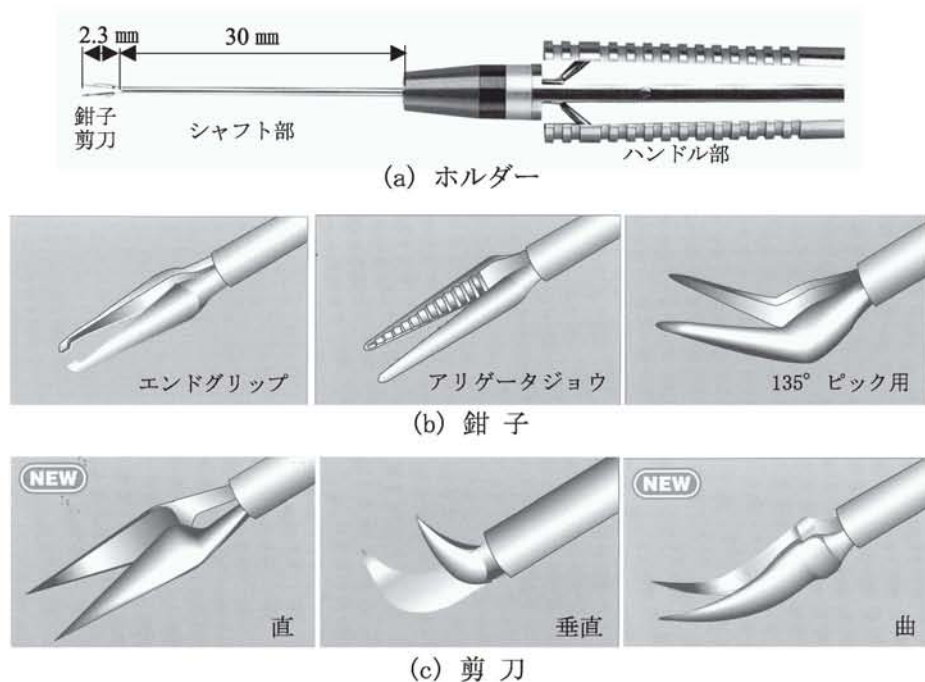


図10 硝子体手術用マイクロ鉗子、剪刀(DORC社製)

調査したダニの鉋角は 0.1 mm 程度かそれより小さい。小さな器具が使われている手術の代表的な例として眼球の硝子体手術がある。硝子体およびその奥にある網膜に異常がある場合、強膜に穴をあけて手術器具を硝子体に挿入し治療を行うものである。その穴の現在の最小径は 0.5 mm で 25 ゲージ (25G) と呼ばれ、25G の器具はそのような穴に適合するものとなっている。ここでは、25G の種々の器具のうちダニ鉋角と機能が匹敵すると考えられる鉋子と剪刀を取り上げることにした。図 10 にオランダ DORC 社 (日本アールイーメディカル社) のものを例示する⁷⁾。これらはホルダーのハンドル部を掴むと中空のシャフトが前方に移動し、その先にある鉋子や剪刀が閉じる構造になっている。

以下に、ダニの鉋角と鉋子、剪刀との比較検討を行う。

まず、全体的形状に着目する。ここに挙げた鉋子や剪刀は細長く、幅広・湾曲形状のササラダニではなく、トゲダニに類似したものである。これは眼球という軟らかいものを対象としているため大きな力を必要としないこと、材料が十分な強度を持つ金属であることによるものであろう。骨のような硬いものを対象とするのであれば力の点からはササラダニタイプのほうが適している。

次に、歯の形状に着目する。鉋子はつかむことに特化し、先でつかむ、広くつかむ、角度をつけてつかむなどの違いはあるが同じ突形状の対向部が接触するようになっている。また、剪刀は切ることに特化し、直、直角、曲など刃形状の違いがあるが対向部がすれ違っている。これらに対し、ササラダニは対向部が噛み合うので鉋子と似ているが、噛み合いは凹と凸であるため弱く作用すればつかむであり、強く作用すれば砕くとなる。また、トゲダニは突起部とそれのない部分で機能が異なり、突起部が弱く作用すれば突き刺し、強く作用すれば切るとなり、突起を持たない部分はつかみとなるであろう。いずれのダニの場合においても機能は一つに特化していない。上記の突起部による突き刺しは浮遊物を捕まえるのに有効であると思われる。

また、可動指と不動指に分かれていることに着目する。このことによって、指でお箸を使うときのように固定側を目標にあわせればよいので位置決めが容易である。

さらに、鉋角が左右で対になっていることに着目する。左右同時に動くだけであれば作業の安定性が増す程度であるが、別々に動かすことが出来るのなら複雑な作業を行わせる可能性がある。

7. 結論

調査したササラダニとトゲダニの鉋角の形態と機能に関して得られた主な点は以下のごとくである。

- (1) ササラダニの鉋角はペンチ状の外形を呈し、力比が 0.35 程度と大きい。そして、不動指と可動指の噛み合いは丸みを帯びた突起と凹みが対になっている。そのため弱く作用するとつかむ、強く作用すると砕くのに適している。
- (2) トゲダニの鉋角は鉋状で大きく口開くことが出来るが力比は 0.2 程度と小さい。そして、可動指の先端にかま状突起、中間部に幾つかの鋸歯状突起を持っている。そのため弱く作用すると突き刺し、強く作用するとせん断するのに適している。
- (3) 両ダニの鉋角に共通するものとして、鉋角は左右が対になっている、不動指と可動指に分かれている、突起のあることが特徴的である。

謝 辞

本研究は、基礎機械工学科平成 12 年度卒業研究生 加藤 久棋 氏、平成 13 年度卒業研究生 掛橋 秀伸 氏の卒業研究などをもとにまとめたものであり、両氏の努力に感謝する。また、マイクロ鉋子、剪刀の資料はアールイーメディカル株式会社からいただいた。記して謝意を表す。

参考文献

- (1) 江原昭三, 真梶得純 (1996) 植物ダニ学, pp.1-20, 全国農業教育協会.
- (2) 青木淳一, 渡辺弘之 (1995) 土の中の生き物, pp.84-94, 築地書館.
- (3) Nobuhiro Kaneko (1988) Feeding Habits and Cheliceral Size of Oribaitid Mites in Cool Temperature Soils in Japan, *Rev. Ecol. Sol*, 25(3), 353-363.
- (4) 中須賀元, 山本明, 山岡正和, 河田耕一, 佐藤健夫 (2003) 微細放電加工によるマイクロ手術器具, 2003年度精密工学会春季大会学術講演論文集, p.67.
- (5) 青木淳一 (1999) 日本産土壌動物, pp.173-436, 東海大学出版会.
- (6) Warner, G.F.W. and Jones, A.R. (1976) Leverage and Muscle Type in Crab Chelae, *J. Zool., Lond.*, 180, 57-68.
- (7) アールイーメディカル社 (2004) ドルク社マイクロインスツルメントカタログ, <http://www.re-medical.co.jp>.

英文抄録**Form and Function of Chelicera of Soil Spider Mite**Katsumi Mizutani¹

Forms of chelicera of two kinds of soil spider mites were investigated being focused on the function based on their feeding habits. Two kinds of spider mites were oribatid mite and mesostigmatid mite which were collected from the soil in the forest in Kinki University Wakayama Campus. SEM micrographs of both mites suggest that (1) chelicera of oribatid mite has an appearance like cutting plier with high mechanical advantage (≈ 0.35) and hence could powerfully crunch hard matters like fallen leaf, (2) chelicera of mesostigmatid mite has slender arms with sharp protrusions in their tips and middle parts and hence could pierce and cut relatively large soft matters like nematode in spite of its low mechanical advantage (≈ 0.2).

1. Department of Mechanical Engineering and Biomimetics, Kinki University, Wakayama 649-6493, Japan