

令和7年度中学生・高校生の科学・技術研究論文 中学校 個人研究の部 最優秀賞



アサガオのつるの巻きつきにおける接触刺激の役割と
植物ホルモンエチレンとの関係

～アサガオのつるの研究9年目～

福島大学附属中学校 3年 横川 眞子

1. 研究の背景・目的

【研究の背景】アサガオのつるは、茎頂を回旋させながら棒に巻きついていく。私は小学校1年生の時から、つるが棒に巻きつく時の動きを調べてきたが、中学1年からは、つるの巻きつきに植物ホルモンが影響を与えるのかに興味をもち、植物ホルモンであるジベレリンについて検討を進めてきた。その結果、つるの巻きつきにはジベレリンが必要であることが明確になり、更に、茎頂が出始めて巻きつきを開始していない早期の時期から、茎頂の先端にはジベレリンが貯蔵され、既に巻きつく能力を持っていることが明らかになった(第68回日本学生科学賞 内閣総理大臣賞受賞: 「あさがおのつるの研究8年目」 つるの巻きつきにおける植物ホルモンジベレリンの役割を解明する)(中学2年時)。

この結論に至るまでの経緯を以下にまとめる。

始めに、すでにつるが棒に巻きついているアサガオを用いて検討した。つるの茎頂の先端を切除することによって、巻きつきは停止したが、茎頂の切断面にジベレリンを塗布することで、つるの巻きつきは回復した(図1)。一方で、つるの茎頂の先端にジベレリンの生合成阻害薬、拮抗薬を塗布すると、茎頂を半切したつると同様に棒への巻きつきが停止した(図1)。このことから、つるの巻きつきにはジベレリンが必要であると考えた。



図1 茎頂の切除、ジベレリン、ジベレリンの生合成阻害薬、拮抗薬塗布による つるの巻きつきと離れ

次に、つるがいつから棒に巻きつく能力を持ち始めるのかを調べるために、茎頂が出始めて棒に巻きついていない時期のつる(つるの長さがまだ15cm前後)を用いて検討を行った。ジベレリンを塗布すると短い長さで棒に巻きついたが、ジベレリンの生合成阻害剤(ビーナイン)を塗布したつるは棒にまきつかず、ジベレリン拮抗薬(アブサップ)を塗布したつるは、茎頂を半切したつると同様に棒への巻きつきに時間を要した(図2)。

Group	棒に巻きついた時の つるの長さ(cm)	巻きついた時
① そのまま	41.0	3.5日目
② ジベレリン	35.0	2日目
③ ビーナイン(ジベレリン生合成阻害剤)	—	まきつかない
④ アブサップ(ジベレリン拮抗薬)	58.5	5日目
⑤ 半切	52.7	6.5日目
⑥ 半切+ジベレリン	32.7	3.5日目

図2 茎頂が出始めのつるにおける、ジベレリン、ジベレリンの生合成阻害薬、拮抗薬塗布の反応

この結果から、つるは、茎頂が出始めの頃から自分でジベレリンを産生し、それに反応して棒に巻きつける能力を持っている、ということが分かった。

しかし、11 個体のアサガオで、つるが棒に自然に巻きつく長さを調べると、 $47.94 \pm 6.60 \text{ cm}$ であった。茎頂が出始めの頃から自分でジベレリンを産生し、巻きつける能力を持っているにもかかわらず、なぜこの長さになるまで巻きつかないのか、私は疑問を持った。

私は、短いつるはジベレリンの産生量が少ない、もしくはつるを巻きつかせる力が弱い、と予想し、棒に巻きついていないつる、棒に巻きついていないつるのそれぞれの茎頂を半切してすりつぶし、短いつるの茎頂に塗布して比較した。

棒に巻きついていないつるの茎頂のすりつぶしを塗布したつると、巻きついていないつるの茎頂のすりつぶしを塗布したつるは棒に巻きついた長さ、日数とも同様で、両者に差を認めなかった(表1)。更に、ジベレリンを塗布したつるとも差を認めなかった(表1)。この結果から、短いつるの茎頂の先端に存在するジベレリンにも、つるを棒に巻きつかせる十分な量と力があると考えた。

Group	棒に巻きついた時の つるの長さ(cm)	巻きついた時
①そのまま	45.0	4日目
②ジベレリン	32.6	3日目
③巻きついているつるOの茎頂のすりつぶし	38.8	3日目
④巻きついていないつるxの茎頂のすりつぶし	36.8	2.5日目
⑤ビーナイン(ジベレリン生合成阻害薬)	—	巻きつかない

表1 茎頂の半切すりつぶしを 短いつるの茎頂に塗布した時の反応

以上の結果から、茎頂が出始めて巻きつきを開始していない早期の時期から、茎頂の先端にはジベレリンが貯蔵され、既に巻きつく能力を持っていることが明らかになった。

更に、ジベレリンの生合成阻害剤(ビーナイン)塗布で前処理し内生ジベレリンの生合成を抑制したつるの茎頂に、合成ジベレリンや茎頂の半切すりつぶしを塗布しても、つるは短時間で棒に巻きついた(表2)。ビーナインが阻害するジベレリン生合成の段階は、後期過程である20位ならびに3位の酸化の段階であると考えられているので、もともと茎頂の先端に貯留されているジベレリンは、活性型ではなく前駆体である、と考えた。

Group	棒に巻きついた時の つるの長さ(cm)	巻きついた時
① そのまま	45.0	4日目
② ビーナイン	—	巻きつかない
③ ビーナイン+ジベレリン	40.8	2.5日目
④ ビーナイン+巻きつきOの茎頂のすりつぶし	39.4	2日目
⑤ ビーナイン+巻きつきxの茎頂のすりつぶし	41.0	2日目

表2 ジベレリンの生合成阻害剤(ビーナイン)塗布で前処理した時の反応

以上の結果から、つるは、茎頂が出始めの時期から前駆体ジベレリンを産生して茎頂の先端に貯蔵させ、既に棒に

まきつく準備ができていことが明らかになった。茎頂の先端に貯留されている前駆体ジベレリンをすりつぶすと、合成ジベレリンと同様に対象のつるを巻きつかせることができるようになったことから、すりつぶすという接触刺激が、前駆体ジベレリンを活性型ジベレリンに活性化させたのかもしれないと考えた(図3)。

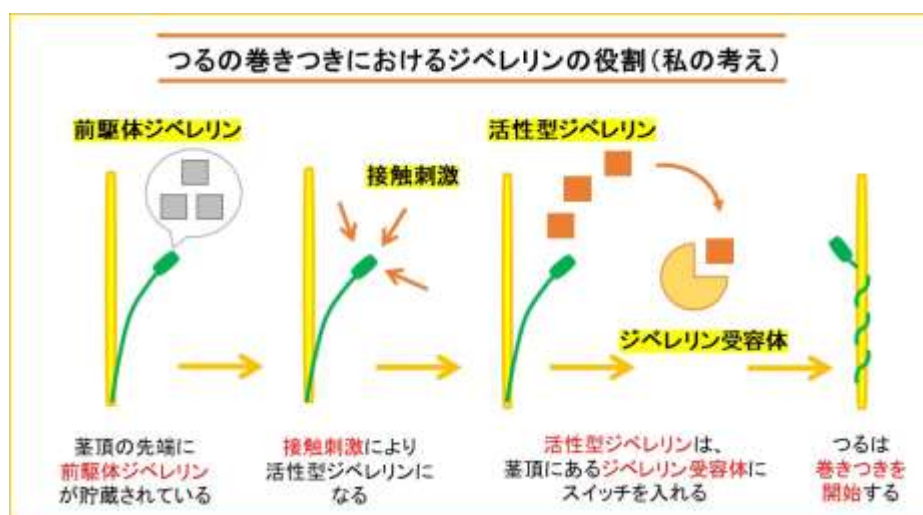


図3 つるの巻きつきにおけるジベレリンの役割

アサガオの生体においても、茎頂に接触刺激を与えると、つるの巻きつきは開始するのだろうか。

今回は、接触刺激がつるの巻きつきを開始させるのか、どのような機序が関与しているのかを調べたいと思った。

【研究の目的】 《今年の研究で調べたいこと》

- (1) アサガオの茎頂の接触刺激により、つるは巻きつきを開始するのか。
- (2) 接触刺激によって誘導されるとされる植物ホルモンのエチレンは、つるの巻きつきに影響を与えているのか。

上記の研究目的を設定した理由:

植物が接触などの機械的刺激によって形態を変化させる現象は「接触形態形成 (Thigmomorphogenesis)」と呼ばれている (Jaffe, 1981, Jaffe and Forbes, 1993)。多くの植物において、接触刺激によって植物ホルモンのエチレンが誘導され、ほとんどの場合、茎の伸長は抑制され、逆に茎は太くなることが知られている。ユリやキクなどの花、農作物、盆栽などにはその反応を利用して栽培されているものがある。

昨年の研究結果から、私は、接触刺激がアサガオの茎頂に貯留されている前駆体ジベレリンを活性型ジベレリンに活性化させ、つるの巻きつきを開始させているのではないかと考えた(図3)。

しかし、過去の文献を調べても、接触刺激がつるの巻きつきを誘導している、という報告はなかった。一方で、シロイヌナズナに接触刺激を与えると、活性型ジベレリン (GA) である GA_4 量が大きく減少し、その結果、成長と開花が遅延することが知られていることを知った。シロイヌナズナを用いた研究では、接触処理をすると、対照と比較して 25 % 多くエチレンを生産することで、EIN3 タンパク質量が増加し、その抑制作用により、最終的には生理活性をもつ GA_4 含量は 33% 減少したことが報告されていた (Wang et al., 2024)。

アサガオの実生では、活性型 GA の直接の前駆体である GA_{20} が子葉から茎に輸送され、 GA_{20} がアサガオの活性 GA である GA_1 に変換されて利用されることが報告されている (Yang et al., 1995, 1996)。

シロイズナズナとアサガオの活性 GA は異なるが、この研究結果を踏まえると、アサガオでも接触刺激によりエチレン産生が増加し、最終的に活性型ジベレリンの発現量は減少する可能性があり、私の予想と逆になる可能性もある。

今回は、アサガオの茎頂の接触刺激により、つるは巻きつきを開始するのかを明らかにしたい。更に、一般的に接触刺激によって誘導されるとされる植物ホルモンのエチレンが、アサガオのつるの巻きつきに影響を与えているのかを明らかにしたい。

最終的な目標は、接触刺激がエチレンの誘導を介して、茎頂に貯留されている前駆体ジベレリン GA_{20} を活性型ジベレリンの GA_1 に活性化させ、つるの巻きつきを開始させるのかを明らかにすることである。

【仮説】

(1)アサガオの茎頂の接触刺激により、つるは巻きつきを開始するのか。

- ➡ 昨年の研究結果から、つるの巻きつきにはジベレリンが必要であることが明確になった。茎頂が出始めで巻きつきを開始していない早期の時期には、茎頂に前駆体ジベレリンが貯留されており、茎頂に接触刺激を与えて活性型ジベレリンに活性化させれば、つるは巻きつきを開始すると仮説を立てた。

(2)接触刺激によって誘導されるとされる植物ホルモンのエチレンは、つるの巻きつきに影響を与えているのか。

- ➡ 他の植物と同様に、アサガオでも接触刺激によって植物ホルモンのエチレンが誘導されると考えた。誘導されたエチレンが、何らかの機序で最終的に前駆体ジベレリン GA_{20} を活性型ジベレリン GA_1 に活性化させ、つるの巻きつきを開始させると仮説を立てた。接触刺激にエチレン作用阻害剤の処理を加えると、巻きつかなくなるのではないかと予想した。

2. 研究方法

【材料と方法】

○アサガオの種子:暁の混合(サカタのタネ) (図 4)

○茎頂の接触刺激:柔らかい習字用の筆(図 4)で、1 日 2 回、朝 7 時と 19 時に茎頂の両側面と頂部を合計 40 回なでた。

○使用した薬剤:(図 4)

- ・エチレン(2-chloroethylphosphoric acid):商品名「石原エスレル 10」(石原バイオサイエンス株式会社):水で 500 倍に希釈し茎頂に塗布
- ・エチレン作用阻害剤(STS:チオ硫酸銀錯塩):商品名「クリザール K-20C」:水で 1000 倍に希釈し茎頂に塗布



図 4 アサガオの種子、接触刺激する筆、使用した薬剤

【実験方法】

実験(1)

アサガオの茎頂の接触刺激により、つるは巻きつきを開始するのか、を検証する実験

茎頂が出始めで棒に巻きついていない時期のつる(つるの長さがまだ 15 cm 前後)を用いて検討を行った。茎頂の先端に接触刺激を与え、つるの伸びの長さ、巻きついた時の長さを比較した。時期を変えて 3 回の検討(実験1、実験2、実験3)を行った。表 3 に示した日程、表 4 の個体で実験を行った(実験3のアサガオは、実験(2)-I の①そのまま、

②T(接触刺激)と併用)。

表 3 実験(1)での時期をかえた 3 回の実験: 日程と個体数

	実験開始日	実験に使用したアサガオの個体数	
		接触刺激なし	接触刺激あり
実験 1	6 月 17 日 7 時	1	1
実験 2	6 月 23 日 19 時	1	3
実験 3	6 月 26 日 19 時	1	1

表 4 実験(1)で使したアサガオ

Group	接触刺激	実験開始時: 地面からのつるの長さ(cm)
実験 1	なし	12.0
	あり	8.0
実験 2	なし	16.5
	あり①	16.5
	あり②	15.0
	あり③	17.0
実験 3	なし	19.0
	あり	14.5



図 5 実験(1)の実験 1、実験 2 で使用したアサガオ

★【実験 1:6 月 17 日 7 時、実験 2:6 月 23 日 19 時、実験 3:6 月 26 日 19 時 にそれぞれ実験開始】

接触刺激ありのアサガオは柔らかい筆で 1 日 2 回、朝 7 時と 19 時に茎頂の両側面と頂部を合計 40 回なでた。



図 6 アサガオの茎頂に接触刺激を与えている様子

実験(2)

接触刺激によって誘導されるとされる植物ホルモンのエチレンは、つるの巻きつきに影響を与えているのか、を検証する実験

実験(2)-I :

接触刺激によって植物ホルモンのエチレンが誘導され、つるの巻きつきに影響を与えるのかを調べるために、エチレン(2-chloroethylphosphoric acid)、エチレン作用阻害剤(STS:チオ硫酸銀錯塩)を茎頂に塗布し、実験を行った。茎頂が出始めて棒に巻きついていない時期のつるを用いて実験を行った。表5に示した下記の①～⑥のGroupで実験を行った。

表5 実験(2)-I で使用したあさがお

Group	実験開始時:地面からのつるの長さ(cm)
①そのまま	19.0
②T(接触刺激)	14.5
③エチレン	8.0
④エチレン+T	10.0
⑤エチレン作用阻害剤	12.5
⑥エチレン作用阻害剤+T	13.5

★【6月26日19時:実験開始】 茎頂が出始めて棒に巻きついていない時期のつる(図7)に接触刺激(T)を開始し、エチレン(③、④)、エチレン作用阻害剤(⑤、⑥)の塗布を行った(図8)。



図7 実験(2)-I 開始時: 使用した 茎頂が出始めて、棒に巻きついていない時期のあさがおのつる



図8 エチレン、エチレン作用阻害剤を茎頂に塗布している様子

実験(2)-II: 統計学的評価は Mann-Whitney の U 検定を用いた。

実験(2)-III: 茎頂への接触刺激、エチレンによるつるの棒への巻きつきの強さを評価するため、棒に巻きついているつるの巻きつき1周の長さを測定した。

棒に巻きついているつるの巻きつき1周の長さは、以下のように計算した(図9)。



図9 棒に巻きついているつるの 巻きつき1周の長さ の測定方法

★巻きつき1周の長さ(cm)

= つるが巻きつきを開始した位置から茎頂までの距離 (cm) / 巻きついている周数(360度で1周)

3. 結果

実験(1)

アサガオの茎頂の接触刺激により、つるは巻きつきを開始するのかを検証する実験

★【実験1 6月22日7時:実験開始5日目】 接触刺激なし、接触刺激ありのつるは、それぞれ 48.1 cm、32.5 cm、の長さで棒に巻きついた(図10)。



図10 実験(1)の実験1 開始5日目:つるの棒への巻きつき

★【実験2 6月25日19時:実験開始2日目】 接触刺激なしのつるは巻きついていないが、接触刺激あり(①、②、③)のつるは、それぞれ24.9 cm、22.1 cm、24.7 cmの長さで棒に巻きついた(図11)。



図11 実験(1)の実験2 開始2日目:接触刺激ありのつるの棒への巻きつき

★【実験2 6月27日7時:実験開始3.5日目】 接触刺激なしのつるも、遅れて32.8 cmの長さで巻きついた(図12)。



図12 実験(1)の実験2 開始3.5日目:接触刺激なしのつるの棒への巻きつき

表6 実験(1):棒に巻きついた時のつるの長さとうきつくまでの日数

Group	接触刺激	棒に巻きついた時のつるの長さ (cm)	巻きついた時
実験1	なし	48.1	5日目
	あり	32.5 (接触刺激なしのつるの67.6%)	5日目
実験2	なし	32.8	3.5日目
	あり①	24.9 (接触刺激なしのつるの75.9%)	2日目
	あり②	22.1 (接触刺激なしのつるの67.4%)	2日目
	あり③	24.7 (接触刺激なしのつるの75.3%)	2日目
実験3	なし	44.0	3.5日目
	あり	25.3 (接触刺激なしのつるの57.5%)	3.5日目

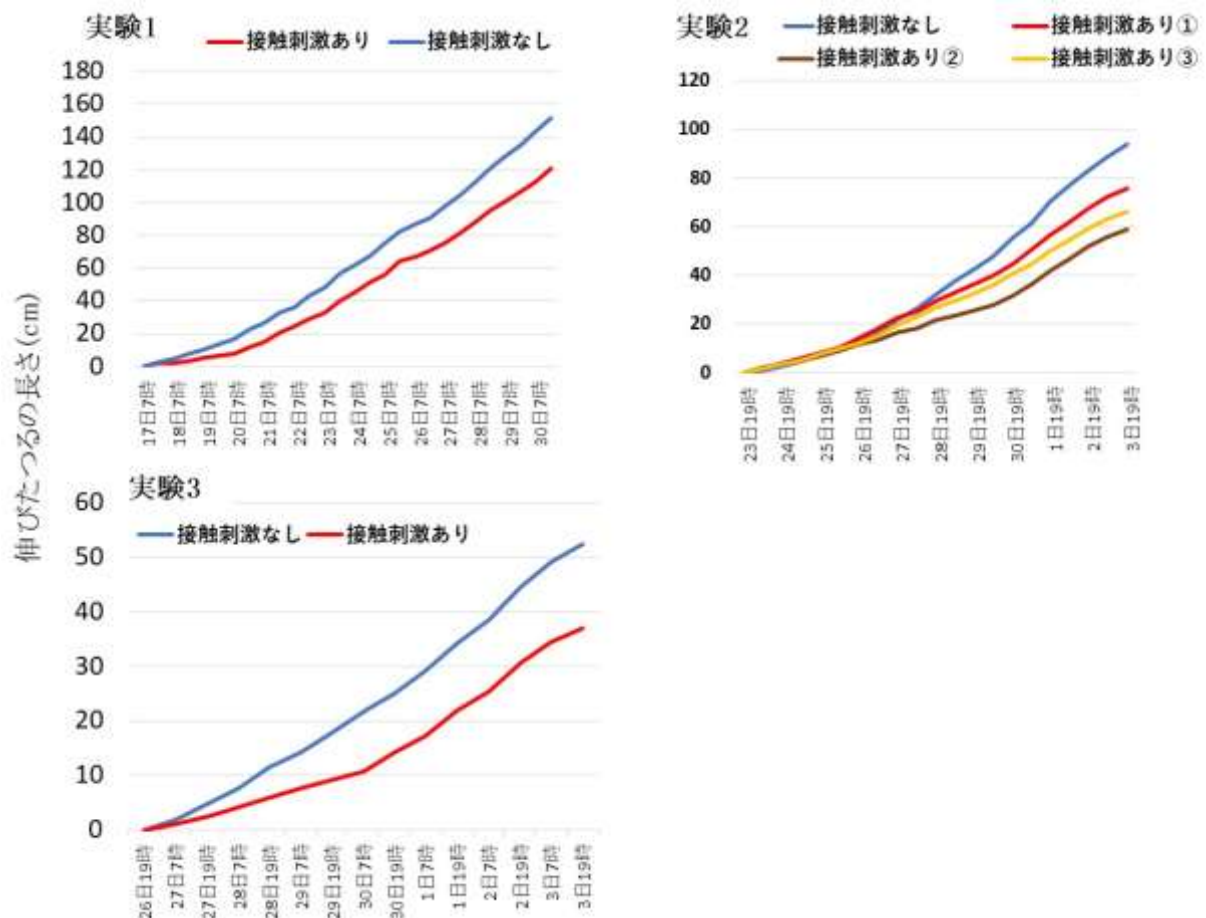


図 13 茎頂の接触刺激によるつるの伸長への影響

実験(1)の結果:

- ・茎頂に接触刺激を与えると、接触刺激のない そのままのつるが自然に巻きつく長さに比べて、短い長さで支柱に巻きついた(表 6)。接触刺激のないつるに比べ 57.5%~75.9%の長さで巻きついた。
- ・茎頂に接触刺激を与えると、つるの伸びはいずれも遅くなった(観察最終日における、接触刺激なしに対する伸びたつるの長さ:実験1は 79.6%、実験 2 は①80.6%、②62.8%、③70.7%、実験 3 は 70.8%)。茎が太くなった印象はなかった(図 13)。
- ・実験 1、2、3 の時期で気温が大きく異なったことが影響したのか、接触刺激のないつるが自然に巻きついた長さが異なった(表 6)。昨年(2024 年)の実験では、6月中旬から7月上旬にかけて11 個体のアサガオでつるが棒に自然に巻きつく長さを調べ、 $47.94 \pm 6.60\text{cm}$ であったが、実験 2 ではそれよりも短かった。

→**まとめ**:茎頂の接触刺激により、つるは短い長さで巻きつきを開始する。自然に巻きつく長さ比べ、57.5%~75.9%の長さで巻きつきを開始する。

実験(2)

接触刺激によって誘導されるとされる植物ホルモンのエチレンは、つるの巻きつきに影響を与えているのか、を検証する実験

実験(2)-I：接触刺激によって植物ホルモンのエチレンが誘導され、つるの巻きつきに影響を与えるのかを調べるために、茎頂が出始めて棒に巻きついていない時期のつる(つるの長さ15cm程度)を用いて実験を行った。結果は、表7のようになった。

★【6月30日7時:実験開始3.5日目】そのまま(①)、T(接触刺激)(②)、エチレン作用阻害剤+T(⑥)のつるは、それぞれ44.0 cm、25.3 cm、31.3 cmの長さで棒に巻きついた(図14)。



図14 実験(2)-I 開始3.5日目:つるの棒への巻きつき

★【7月2日7時:実験開始5.5日目】エチレン+T(④)、エチレン作用阻害剤(⑤)のつるは、4.5日目にそれぞれ28.0 cm、33.6 cmの長さで棒に巻きついたが、エチレン(③)のつるは巻きつかなかった(図15)。



図15 実験(2)-I 開始5.5日目:つるの棒への巻きつき

表7 実験(2)-I:棒に巻きついた時のつるの長さと巻きつくまでの日数

Group	棒に巻きついた時のつるの長さ (cm)	巻きついた時
①そのまま	44.0	3.5 日目
②T(接触刺激)	25.3	3.5 日目
③エチレン	41.8	8.5 日目
④エチレン+T	28.0	4.5 日目

⑤エチレン作用阻害剤	33.6	4.5 日目
⑥エチレン作用阻害剤+T	31.3	3.5 日目

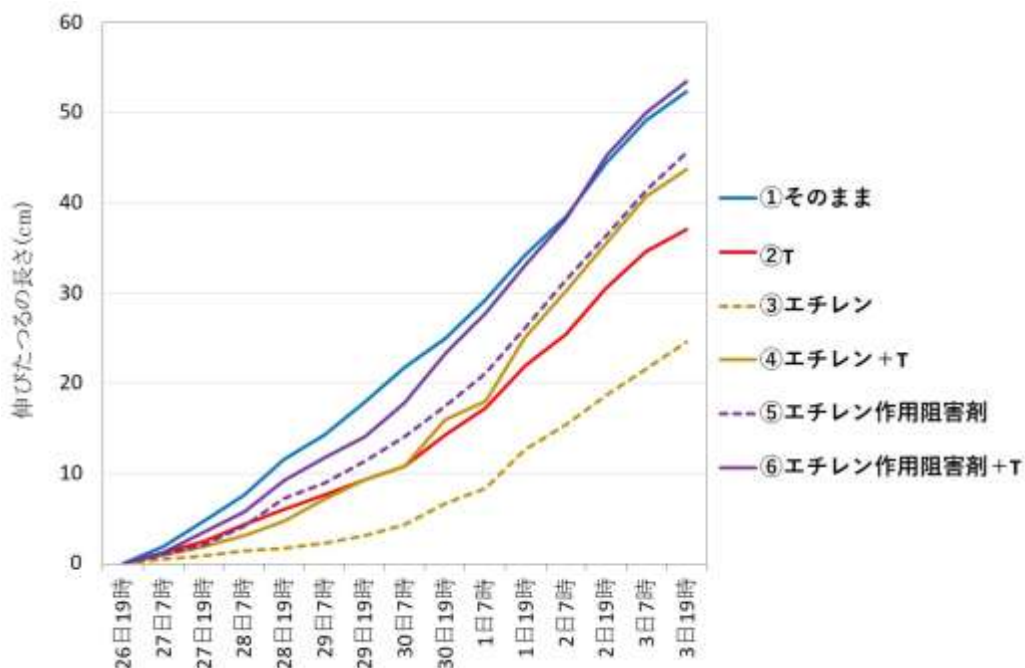


図 16 つるの巻きつきにおける、接触刺激、エチレン、エチレン作用阻害剤の影響

→実験(2)-Iの結果:

- ・茎頂に接触刺激を与えると、接触刺激のないそのままのつる(①、44.0cm)に比べ短い長さで棒に巻きついた(②、25.3cm)(表 7)。接触刺激にエチレン作用阻害剤を加えると 31.3 cmで巻きつき(⑥)、接触刺激の作用が弱まった(表 7)。
- ・茎頂に接触刺激のみを与えると(②)、つるの伸びは遅くなった。一方で、エチレン作用阻害剤を塗布して接触刺激を与えると(⑥)、つるの伸びはそのままのつると同様の速さに回復した(図 16)。
- ・外生のエチレンを塗布すると、つるは短い長さでは巻きつかず(③、41.8 cm、表 7)、つるの伸びも遅くなった(図 16)。接触刺激を加えると、短い長さで巻きつきを開始するようになった(④、28.0 cm、表 7)。一方で、外生のエチレン塗布に接触刺激を加えると、つるの伸びは、逆に速くなった(④:図 16)。
- ・エチレン作用阻害剤を塗布したつる(⑤)と、エチレン作用阻害剤に接触刺激を与えたつる(⑥)では、巻きついた時のつるの長さは同様であった。

→**まとめ:** 茎頂の接触刺激により、つるは短い長さで巻きつきを開始する。エチレン作用阻害剤の塗布により、接触刺激で生じる反応(短い長さで巻きつきを開始する、つるの伸びが遅くなる)が弱まることから、接触刺激により内生のエチレンが誘導され、つるの巻きつきに影響を与えている可能性があると考えた。

実験(2)-II: 茎頂への接触刺激、接触刺激によって誘導されるエチレンが、つるの巻きつきに影響を与えているのかを評価するために、新たなアサガオで同じ実験を行なった(表 8)。実験 I、実験(2)-I の結果と併せて、棒に巻きついた時のつるの長さについて統計学的評価(二群間検定)を行った(図 17)。

表 8 実験(2)-II: 棒に巻きついた時のつるの長さ(平均値)と巻きつくまでの日数: 新たな実験の結果

Group	棒に巻きついた時のつるの長さ (cm)	巻きついた時 (日目)
①そのまま (n=4)	34.0	3.5
	38.5	3
	42.3	4
	33.1	4.5
②T(接触刺激) (n=3)	26.9	3.5
	33.1	3.5
	31.8	4
③エチレン (n=2)	31.8	10
	56.6	7.5
④エチレン+T (n=3)	23.9	4
	29.0	5
	32.8	5
⑤エチレン作用阻害剤 (n=1)	34.7	4
⑥エチレン作用阻害剤+T (n=1)	43.5	5.5

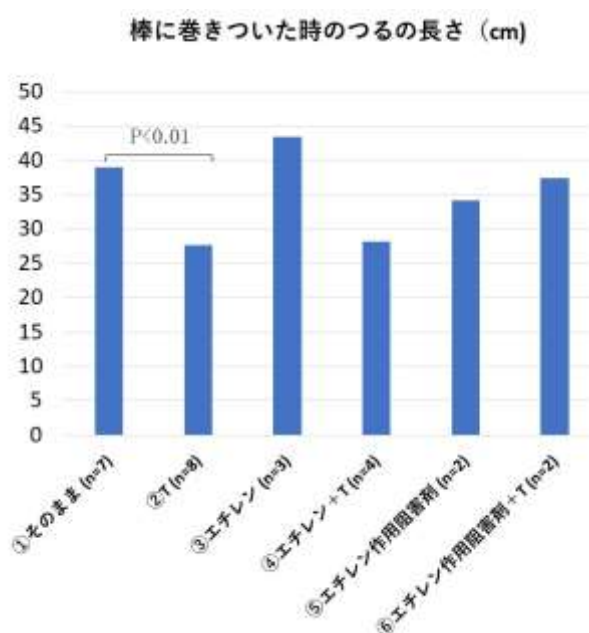


図 17 実験(2)-II: 棒に巻きついた時のつるの長さ。接触刺激、エチレン、エチレン作用阻害剤の影響

→実験(2)-II の結果:

・茎頂に接触刺激を与えると、接触刺激のないそのままのつる(①:平均値 39.0cm)に比べ、有意に短い長さで棒に巻きついた(②:平均値 27.7cm) ($p<0.01$)(図 17)。

- ・接触刺激にエチレン作用阻害剤を加えると(⑥: 平均値 37.4cm)、短い長さでは巻きつけなくなった。
- ・外生のエチレンを塗布したつるが棒に巻きついた時のつるの長さは長い(③: 平均値 43.4cm)、エチレン塗布に接触刺激を加えると、接触刺激のみのつると同様の短い長さで棒にまきついた(④: 平均値 28.4cm)(図 17)。

→**まとめ**: 統計学的に評価しても、茎頂の接触刺激により、つるは有意に短い長さで巻きつきを開始する。エチレン作用阻害剤の塗布により、接触刺激で生じる反応(短い長さで巻きつきを開始する)が弱まることから、接触刺激により内生のエチレンが誘導され、つるの巻きつきに影響を与えている可能性があると考えた。

実験(2)-III: 茎頂への接触刺激、エチレンによるつるの棒への巻きつきの強さを評価するために、棒に巻きついているつるの巻きつき1周の長さを評価した(表 9)。

表 9 実験(2)-III: 棒に巻きついているつるの巻きつき1周の長さ

Group	つるの長さ (cm)	巻きつきの数 (周)	巻きつき1周の長さ (cm)
①そのまま (n=4)	105.0	9	11.7
	92	8	11.5
	52.0	4	13.0
	47.0	4	11.8
②T(接触刺激) (n=4)	142.0	13.5	10.5
	76	10	7.6
	56	7	8.0
	64	7	9.1
③エチレン (n=2)	81.0	8	10.1
	130.0	13	10.0
④エチレン+T (n=3)	114.0	13.0	8.8
	145.0	17	8.5
	123.0	15	8.2
⑤エチレン作用阻害剤 (n=3)	49.0	4	12.3
	45.0	4	11.3
	131.0	10.5	12.5
⑥エチレン作用阻害剤+T (n=4)	53.0	4	13.3
	81.0	6	13.5
	105.0	7.0	15.0
	121.0	11	11.0

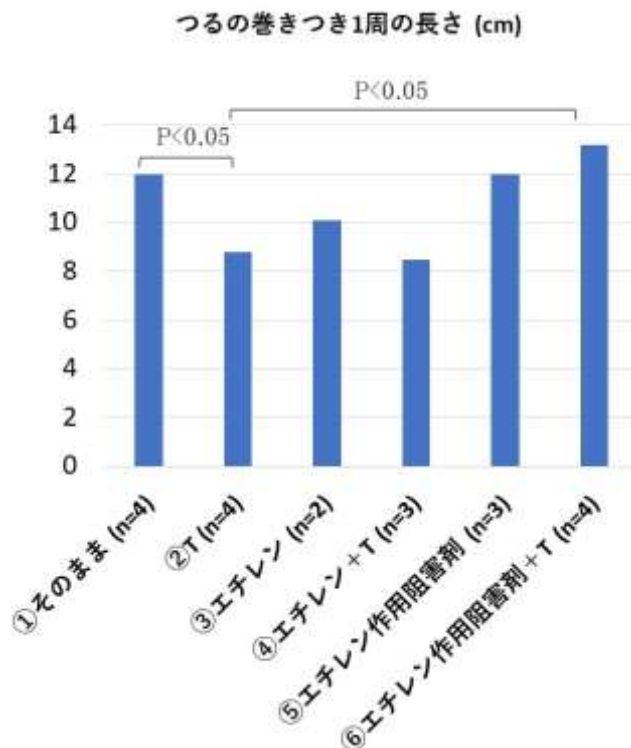


図 18 つるの巻きつき1周の長さ。接触刺激、エチレン、エチレン作用阻害剤の影響

→実験(2)-IIIの結果:

・茎頂に接触刺激を与えた Group(②)は、接触刺激のないつる(①)に比べ、巻きつき 1 周の長さは有意に短かった(図 18)(平均値:①12.0cm、②8.8cm)。棒にきつくしっかり巻きついているということになる。この短い巻きつきは、エチレン作用阻害剤塗布を加えることで、有意に長くなった(⑥:13.2cm)。つまり、巻き付きがゆるくなったということである(図 18)。

・外生のエチレン塗布によっては、やや巻きつき 1 周の長さが短くなった印象はあるが(③:10.1cm)、エチレン塗布に接触刺激を加えることで、更に巻きつき 1 周の長さは短くなり(④:8.5cm)、棒への巻きつきが強くなった。

→まとめ:

・茎頂に接触刺激を与えると、きつくしっかり巻きつくようになった。このきつい巻きつきは、エチレン作用阻害剤を塗布することで、ゆるくなった。接触刺激による巻きつきの強さは、接触刺激によって誘導された内生エチレンによって生じている可能性があると考えた。

【結果のまとめ】

(1) アサガオの茎頂の接触刺激により、つるは巻きつきを開始するのか。

➡アサガオの茎頂の接触刺激により、つるは短い長さで巻きつきを開始した。接触刺激のないつるに比べ 57.5%～75.9%の長さで巻きつきを開始した。更に、接触刺激によりつるの伸びは遅くなり、棒へ強く巻き付くようになった。

接触刺激による反応：

- ① 短い長さで巻きつきを開始する： 刺激なしのつるの 57.5%～75.9%の長さで巻きつきを開始
- ② つるの伸びが遅くなる： 同じ時間に伸びたつるの長さは、刺激なしのつるの 62.8%～80.6%
- ③ 棒への巻きつきが強くなり、棒への巻きつきが速くなる： 巻きつき1周の長さは、刺激なしのつるの平均 12.0cm から 8.8cm に短縮

(2) 接触刺激によって誘導される植物ホルモンのエチレンは、つるの巻きつきに影響を与えているのか。

➡エチレン作用阻害剤を与えてから接触刺激をすると、接触刺激による反応(①短い長さで巻きつきを開始する、②つるの伸びが遅くなる、③棒への巻きつきが強くなり、棒への巻きつきが速くなる)は、弱まった。このことから、接触刺激によって誘導された内生のエチレンが、つるの巻きつきに影響を与えていると考えた(図 19)。

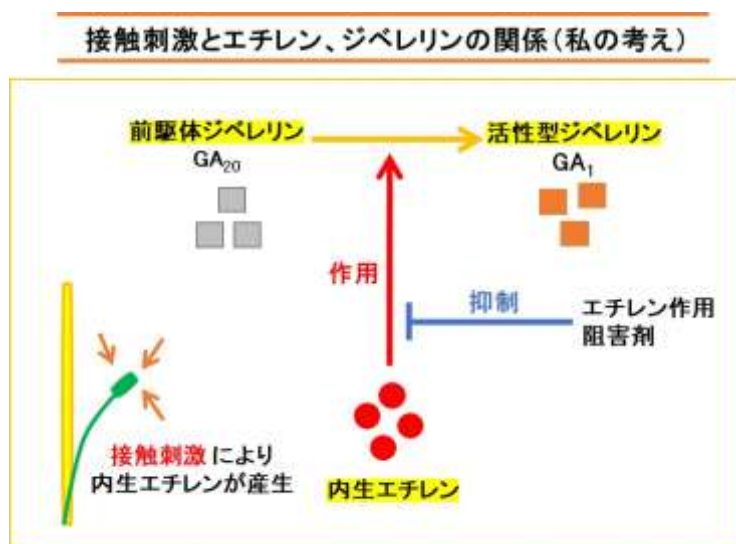


図 19 接触刺激で誘導された内生エチレンとジベレリンの関係

一方で、外生エチレンを塗布すると、つるは短い長さでは巻きつかなかった(表 10 の①:43.4cm)。外生エチレンを塗布したつるに、接触刺激(内生エチレン)を加えると、短い長さで巻きついた(28.4cm)。巻きついた時の長さについては、外生エチレンと内生エチレンの反応は異なった。

外生エチレン塗布によって、棒への巻きつき1周の長さは、そのままのつるの 12.0cm より短くなり(表 10 の③: 10.1cm)、更に外生エチレン塗布に接触刺激(内生エチレン)を加えると、接触刺激(内生エチレン)のみを与えた時(8.8cm)と同等に短くなり、棒への巻きつきは強くなり、棒への巻きつきが速くなった(8.5cm)。

表 10 接触刺激(内生エチレン)と外生エチレン塗布によるつるの巻きつきへの影響

接触刺激(内生エチレン)と外生エチレン塗布によるつるの反応	接触刺激(内生エチレン)	外生エチレン塗布	接触刺激(内生エチレン)＋外生エチレン塗布
①巻きついた時の長さ	平均 27.7cm (n=8)	平均 43.4cm (n=3)	平均 28.4cm (n=4)
②7 日間でのつるの伸び	37.1cm	24.6cm	43.7cm
③巻きつき一周の長さ	平均 8.8cm (n=4)	平均 10.1cm (n=2)	平均 8.5cm (n=3)

昨年の研究から、つるの巻きつきにはジベレリンが必要であることが明確になり、更に、茎頂が出始めて巻きつきを開始していない早期の時期から、茎頂の先端にはジベレリンが貯蔵され、既に巻きつく能力を持っていることがわかった(図 3)。しかし実際には、アサガオは地面からのつるの長さが $47.94 \pm 6.60\text{cm}$ の時期(今年の研究では、もう少し短い)になるまで巻きつきを開始しない。

今回の研究から、接触刺激によって誘導された内生エチレンが、巻きつき開始のスイッチを何らかの形でジベレリンに与えることで、巻きつきを開始させている可能性があると考えた(図 19)。

4.考察

今回の研究から、まだ棒への巻きつきを開始していないアサガオの茎頂への接触刺激により、内生エチレンが誘導され、(1)つるは短い長さで巻きつきを開始する、(2)つるの伸びが遅くなる、(3)棒への巻きつきが強くなり、ことが明らかになった。

私は、昨年の研究結果から、前駆体ジベレリンが貯留されている茎頂の先端をすりつぶすと、合成ジベレリンと同様に対象のつるを巻きつかせることができるようになったことから、すりつぶすという接触刺激が、前駆体ジベレリンを活性型ジベレリンに活性化させたのかもしれないと考えた(図 3)。今回の研究結果から、アサガオの生体においても、茎頂に接触刺激を与えると、つるの巻きつきが開始するということが明らかになった。接触刺激によって誘導される内生エチレンがスイッチとなり、前駆体ジベレリンを活性型ジベレリンに活性化させ、巻きつきが開始されると考えた(図 19)。

エチレンには、植物の茎の伸長成長を横方向への成長に切り替えて肥大させ、背丈が低く太く丈夫な植物にする働きがある。今回、外生エチレンを塗布した 3 日目に、つるは過剰に屈曲した反応を示した(図 20)。しかし棒に、しっかり巻きついているわけではなかった。エチレンはつるを屈曲させて巻きつきやすい形を作っているのではないかと考えた。

一方で、接触刺激による内生エチレンの誘導によつては、つるは短い長さで巻きつき、かつ、棒への巻きつきが強くなり、エチレンの作用によるつるの屈曲と、活性型ジベレリンの作用による巻きつきが
組み合わせられて、つるは強くきつい巻きつきになるのではないだろうか。内生エチレンはつるを屈曲させて巻きつきやすい形を作り、更に内生エチレンによって活性化された活性型ジベレリンがつるを巻きつかせるという、共同作業が行われているのではないかと考えた。



図 20 外生エチレン塗布によるつるの屈曲

あさがおのつるは支柱などの巻きつける他物に接触した時、接触刺激がつるが曲がる誘因になることが知られている。しかし、そのしくみについては不明の点が多い(和田, アサガオの生理学)。

私は小学校3年生の時の研究で、あさがおのつるが筒の中で棒がない状態で伸びていけるのかを調べたが、つるは筒の中で約2メートルまでまっすぐ曲がらずに伸びていた。巻きつく棒に接触しないと、つるは曲がらないと分かった(図 21)。今回の結果を踏まえて改めて考えると、筒の中では巻きつく棒に接触しないため、内生エチレンが産生されず、つるは屈曲せずにまっすぐ曲がらずに伸びていったということになる。

もともとジベレリンには、アサガオのつるの伸長促進作用があることが知られているが、つるの伸長に作用するジベレリンと、巻きつきに作用するジベレリンは異なる機序で誘導されている可能性もある。接触刺激によって産生された内生エチレンを介して誘導されるのは、巻きつきに作用するジベレリンなのかもしれないと考えた。



図21 あさがおのつるを筒の中で育てる実験

昨年(2024年)の実験では、6月中旬から7月上旬にかけて11個体のアサガオでつるが棒に自然に巻きつく長さを調べ、 $47.94 \pm 6.60\text{cm}$ であった。この時期の気温は 30°C 以下であった。今年の実験では、つるが棒に自然に巻きつく長さはこれよりも短く、実験(2)-IIでは、平均 39.0cm ($n=7$)であった。更に実験(1)の実験2では 32.8cm とかなり短い長さで巻きついた。今年も6月中旬から7月上旬の観察期間であったが $30\text{--}36^\circ\text{C}$ の気温であった。気温が高いと巻きつきの開始が早くなる傾向があり、気温が内生エチレンの誘導や、ジベレリンの活性化に影響している可能性があるのではないかと考えた。

私が考えたつるの巻きつきにおける、接触刺激の作用と内生エチレン、ジベレリンとの関係を、図 22 に示す。茎頂が出始めて棒に巻きついていない時期のつる(つるの長さがまだ15 cm前後)は、まだ内生エチレンを産生していない。つるが伸びてきて $47.94 \pm 6.60\text{cm}$ 程度の長さになると、つるが風でゆらされて巻きつける他物にぶつかるようになり、「ぶつかる」という「接触刺激」を受けることで内生エチレンが産生される。産生された内生エチレンは、前駆体ジベレリンを活性型ジベレリンに活性化させ、巻きつきが開始するのではないか、と私は考えた。

つるの巻きつきにおける接触刺激の役割と、内生エチレン、ジベレリンとの関係
(私の考え)

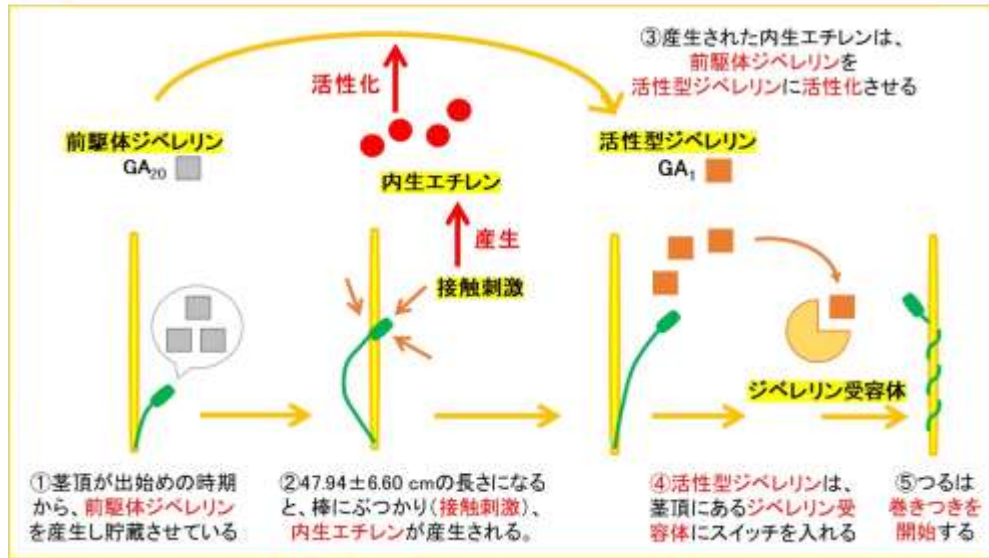


図 22 つるの巻きつきにおける接触刺激の役割と、内生エチレン、ジベレリンとの関係

そもそも、つる植物にとって巻きついて上方へ登っていくのは、光合成に利用する光を十分に得るためであるが、つるが $47.94 \pm 6.60 \text{ cm}$ の長さになるまでは、まだ、何かに巻きつかなくても何とか体を保持でき、光を得ることができるだろう。しかし、この長さ以上になると、何かに巻きつかなければ倒れてしまい、上方へ登れない。同時に、この長さになると、つるがゆらゆらとゆれることができるようになり、茎頂が周囲にぶつかることができる時期になる。そのため、つるが自然に巻きつきを開始するのは、このタイミングになるのではないだろうか。

私は、去年、茎頂のすりつぶしの実験から予想したことが、実際にアサガオの生体で自然に起こっている可能性がある」と分り、とても嬉しかった。

今後は、この仮説について、更に研究を進めて検証していきたい。

そして、食物として有用であるつる植物は多いが、つる植物を有効に活用するためにも、つるの巻きつきのメカニズムを明らかにしていきたい。

5. 結論

まだ棒への巻きつきを開始していないアサガオの茎頂へ接触刺激を与えると内生エチレンが産生され、つるは短い長さで巻きつきを開始し、更に棒への巻きつきが強くきつくなることが明らかになった。

つるが自然に巻きつく $47.94 \pm 6.60 \text{ cm}$ 程度の長さになると、つるが風でゆらされて巻きつける他物にぶつかれるようになり、「ぶつかる」という「接触刺激」を受けることで内生エチレンが産生され、産生された内生エチレンが前駆体ジベレリンを活性型ジベレリンに活性化させて巻きつきが開始するのではないかと私は考えた。

6. 参考文献

- Jaffe, M. J. 1981. Thigmomorphogenesis and thigmonasty. p. 394-395.
- Jaffe, M. J. and S. Forbes. 1993. Thigmomorphogenesis: the effect of mechanical perturbation on plants. *Plant Growth Regul.* 12: 313-324.
- Wang et al. 2024. Ethylene and jasmonate signaling converge on gibberellin catabolism during thigmomorphogenesis in *Arabidopsis*. *Plant Physiology*. 194:758-773.
- Yang, Y. Y. et al. 1995. Metabolism and translocation of gibberellins in seedlings of *Pharbitis nil*. (I) Effect of photoperiod on stem elongation and endogenous gibberellins in cotyledons and their phloem exudates. *Plant Cell Physiol.* 36: 221-227.
- Yang, Y. Y. et al. 1996. Metabolism and translocation of gibberellins in the seedlings of *Pharbitis nil* (II). Photoperiodic effects on metabolism and translocation of gibberellins applied to cotyledons. *Plant Cell Physiol.* 37: 69-75.
- アサガオの生理学 <https://www.sc.niigata-u.ac.jp/biologyindex/wada/>:新潟大学理学部生物学科教授 和田清俊先生作成