

4 『ミニトマトの成熟過程の研究』

- 1 動機 ①生物実験室でトマトの苗を育てていたところ、緑色のトマトが、時間の経過につれて急激に赤くなることがわかった。この色の変化がどの位の期間でどのくらい赤くなるか知りたいと思った。②急激な色の変化を数値化して分析したいと思った。そのために色という数値として表しにくい性質をどのようにしたら客観的に分析できるかを工夫してみたいと思った。
- 2 目的 ①色を精密に数値化して示す方法を探す。(インターネット上で色分析に関連するフリーソフトについてその特徴を調べる) ②デジタルカメラで撮影されるカラー画像の性質について詳しく調べる。(コンピューター上で色がどのように作られているか、逆に色は数値的にどのように表現できるかを調べる) ③トマトの成熟にともなう色を数値化してその変化の傾向を調べる。④トマトの色変化と果実の成長の関係についても調べる。
- 3 方法 ①トマトの苗に実る小さな緑色の果実をデジタルカメラのインターバル機能を使い、3週間の期間にわたり、1時間に1枚毎の写真に撮影する。記録した多数の連続写真を早送りで観察し、色の変化の傾向を調べ、分析する時間間隔を設定する。(その結果2時間毎の変化を分析対象とすることにした) 留意点：ミニトマトを利用し、苗の丈が20～30cm程度で、2～10mm直径の青い果実が多数付いた苗を用意した。果実の成長が止まらないように簡易温室内にいれ温室内を23℃程度にヒーターで保温した。デジタルカメラは、インターバル撮影機能を持つリコーのカプリオ G3 に AC アダプターを装着して、吸盤つきの雲台で温室内のガラス内面に固定した。鉢の下に水を入れたシャーレを置き、その水がなくなったところで水の補給を行った。

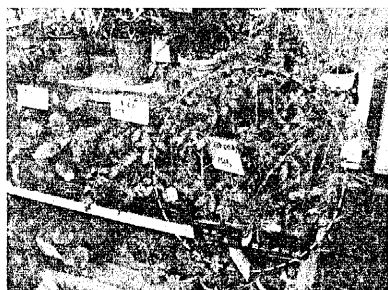


写真1 スーパーで販売されていた苗

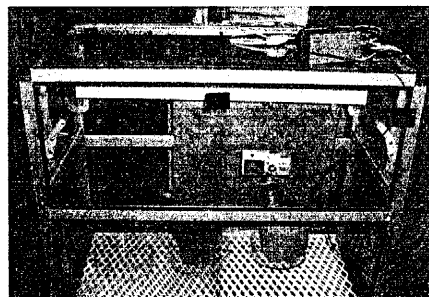


写真2 小型温室に設置された苗

②写真に撮ったトマトについて同じ部位(果実中央の赤の濃い部位)の色を解析フリーソフト「P」を使い、そこで表示される RGB 値(画面上の1点の色を赤、緑、青の色の強さとして数字で示した値)をコンピューターのディスプレイ上のこのソフトのウィンドウより読み取る。③読み取った数値をソフト「エクセル」の表として入力し、その表をグラフ化する。④同じ苗に実った3個体のミニトマトについて分析する。

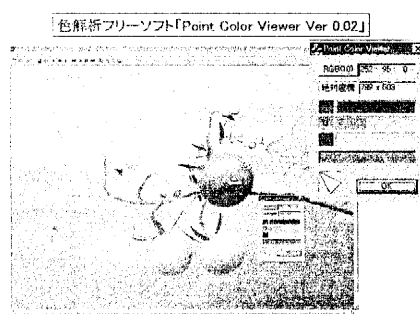


写真3 分析した時のソフトの表示ウィンドウ

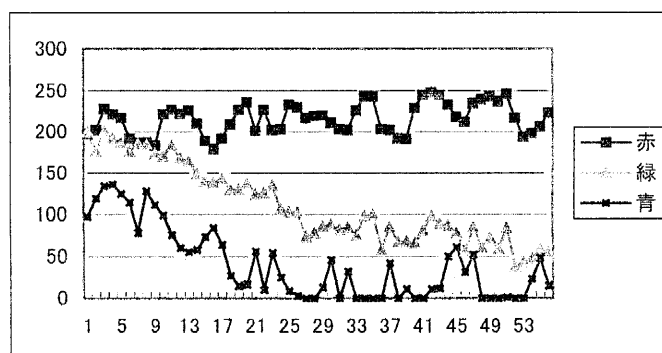


図1 RGB値をグラフ化した例(個体1)

- 4 原理 【RGB 値とは】デジタルカメラの写真は、多くの点（ドット）の集まりにより構成されている。1つのドットはR（赤）、G（緑）B（青）、の3点からなり、それらの各点は256段階の明るさで表示されている。それら3点の明るさが全て0の場合、そのドットは黒となり、全てが256の明るさの場合、ドットは明るい白色に観察される。全ての色はこの3点（RGB）の明るさの度合いで表現される。フリーソフト「Point Color Viewer Ver 0.02」は、画面上の指定された一点の RGB 値を表示する。【今回の研究への利用】以上の仕組みから、緑色から赤色に変わるトマトの中央部に、色分析ソフトの測定位置を指定するポインターを合わせ、その部位の RGB 値を読み取りその値で色の変化を数値化する。（なお、測定点がずれないようにポインターは動かさずに、写真だけを同じ位置で交換した）【照明の光による色の変化】トマトは、強い光がないと育たない。また、夜間に照明がないと大きさの変化や色の変化を連続的に記録できない。そこで記録装置は実験室内の窓際の明るい場所に設置し、装置の上部には植物栽培用の蛍光灯を設置して、24 時間点灯したまま記録撮影した。また、果実には光沢があり、光源が強く反射する位置ではそこだけ白くなるので、このような部位は測定位置から除外した。
- 5 結果 ①【トマトの色変化】の傾向：トマトは緑色のまま十分な大きさに生長した後、色変化が起り始めた。また、トマトの色は、夜と昼間で照射される光の質により微妙に変化した。

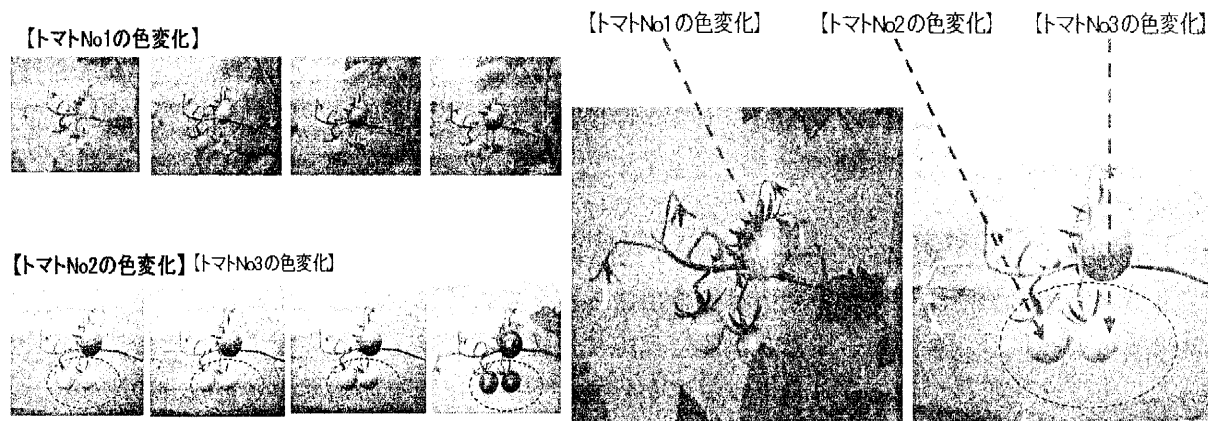


写真4 トマトNo.1～3の色変化の過程（抜粋）

写真5 計測対照トマトNo.1～3

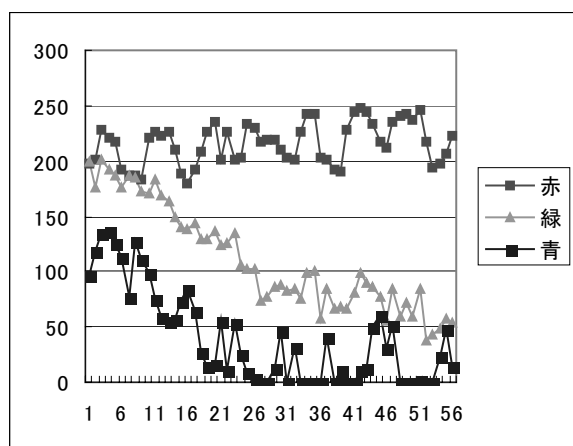
【トマトNo.1～3の中央部の色分析フリーソフト「Point Color Viewer Ver 0.02」で数値化した値を表計算ソフト「エクセル」の表に入力したもの：例2時間毎の数値を表にしたもの：下表】

トマトNo1～3の測定データとそのデータの時刻(赤：正午12時・青：深夜0時)

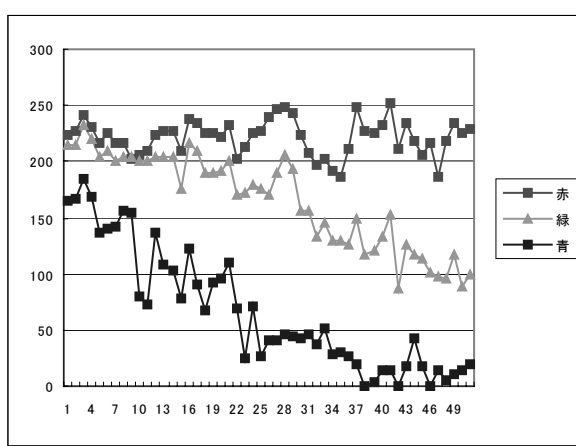
1番目				2番目				3番目			
時刻	R	G	B	時刻	R	G	B	時刻	R	G	B
18:00	1	192	200	18:00	1	193	200	18:00	1	193	200
18:11	1	202	178	18:11	1	193	200	18:11	1	193	200
18:24	1	203	201	18:24	1	200	200	18:24	1	200	200
18:34	1	217	197	18:34	1	217	211	18:34	1	217	211
18:45	1	195	196	18:45	1	200	200	18:45	1	200	200
18:56	1	187	193	18:56	1	200	200	18:56	1	200	200
19:07	1	187	193	19:07	1	200	200	19:07	1	200	200
19:18	1	187	193	19:18	1	200	200	19:18	1	200	200
19:29	1	187	193	19:29	1	200	200	19:29	1	200	200
19:40	1	187	193	19:40	1	200	200	19:40	1	200	200
19:51	1	187	193	19:51	1	200	200	19:51	1	200	200
20:02	1	187	193	20:02	1	200	200	20:02	1	200	200
20:13	1	187	193	20:13	1	200	200	20:13	1	200	200
20:24	1	187	193	20:24	1	200	200	20:24	1	200	200
20:35	1	187	193	20:35	1	200	200	20:35	1	200	200
20:46	1	187	193	20:46	1	200	200	20:46	1	200	200
20:57	1	187	193	20:57	1	200	200	20:57	1	200	200
21:08	1	187	193	21:08	1	200	200	21:08	1	200	200
21:19	1	187	193	21:19	1	200	200	21:19	1	200	200
21:30	1	187	193	21:30	1	200	200	21:30	1	200	200
21:41	1	187	193	21:41	1	200	200	21:41	1	200	200
21:52	1	187	193	21:52	1	200	200	21:52	1	200	200
22:03	1	187	193	22:03	1	200	200	22:03	1	200	200
22:14	1	187	193	22:14	1	200	200	22:14	1	200	200
22:25	1	187	193	22:25	1	200	200	22:25	1	200	200
22:36	1	187	193	22:36	1	200	200	22:36	1	200	200
22:47	1	187	193	22:47	1	200	200	22:47	1	200	200
22:58	1	187	193	22:58	1	200	200	22:58	1	200	200
23:09	1	187	193	23:09	1	200	200	23:09	1	200	200
23:20	1	187	193	23:20	1	200	200	23:20	1	200	200
23:31	1	187	193	23:31	1	200	200	23:31	1	200	200
23:42	1	187	193	23:42	1	200	200	23:42	1	200	200
23:53	1	187	193	23:53	1	200	200	23:53	1	200	200
24:04	1	187	193	24:04	1	200	200	24:04	1	200	200
24:15	1	187	193	24:15	1	200	200	24:15	1	200	200
24:26	1	187	193	24:26	1	200	200	24:26	1	200	200
24:37	1	187	193	24:37	1	200	200	24:37	1	200	200
24:48	1	187	193	24:48	1	200	200	24:48	1	200	200
24:59	1	187	193	24:59	1	200	200	24:59	1	200	200
25:10	1	187	193	25:10	1	200	200	25:10	1	200	200
25:21	1	187	193	25:21	1	200	200	25:21	1	200	200
25:32	1	187	193	25:32	1	200	200	25:32	1	200	200
25:43	1	187	193	25:43	1	200	200	25:43	1	200	200
25:54	1	187	193	25:54	1	200	200	25:54	1	200	200
26:05	1	187	193	26:05	1	200	200	26:05	1	200	200
26:16	1	187	193	26:16	1	200	200	26:16	1	200	200
26:27	1	187	193	26:27	1	200	200	26:27	1	200	200
26:38	1	187	193	26:38	1	200	200	26:38	1	200	200
26:49	1	187	193	26:49	1	200	200	26:49	1	200	200
27:00	1	187	193	27:00	1	200	200	27:00	1	200	200
27:11	1	187	193	27:11	1	200	200	27:11	1	200	200
27:22	1	187	193	27:22	1	200	200	27:22	1	200	200
27:33	1	187	193	27:33	1	200	200	27:33	1	200	200
27:44	1	187	193	27:44	1	200	200	27:44	1	200	200
27:55	1	187	193	27:55	1	200	200	27:55	1	200	200
28:06	1	187	193	28:06	1	200	200	28:06	1	200	200
28:17	1	187	193	28:17	1	200	200	28:17	1	200	200
28:28	1	187	193	28:28	1	200	200	28:28	1	200	200
28:39	1	187	193	28:39	1	200	200	28:39	1	200	200
28:50	1	187	193	28:50	1	200	200	28:50	1	200	200
29:01	1	187	193	29:01	1	200	200	29:01	1	200	200
29:12	1	187	193	29:12	1	200	200	29:12	1	200	200
29:23	1	187	193	29:23	1	200	200	29:23	1	200	200
29:34	1	187	193	29:34	1	200	200	29:34	1	200	200
29:45	1	187	193	29:45	1	200	200	29:45	1	200	200
29:56	1	187	193	29:56	1	200	200	29:56	1	200	200
30:07	1	187	193	30:07	1	200	200	30:07	1	200	200
30:18	1	187	193	30:18	1	200	200	30:18	1	200	200
30:29	1	187	193	30:29	1	200	200	30:29	1	200	200
30:40	1	187	193	30:40	1	200	200	30:40	1	200	200
30:51	1	187	193	30:51	1	200	200	30:51	1	200	200
31:02	1	187	193	31:02	1	200	200	31:02	1	200	200
31:13	1	187	193	31:13	1	200	200	31:13	1	200	200
31:24	1	187	193	31:24	1	200	200	31:24	1	200	200
31:35	1	187	193	31:35	1	200	200	31:35	1	200	200
31:46	1	187	193	31:46	1	200	200	31:46	1	200	200
31:57	1	187	193	31:57	1	200	200	31:57	1	200	200
32:08	1	187	193	32:08	1	200	200	32:08	1	200	200
32:19	1	187	193	32:19	1	200	200	32:19	1	200	200
32:30	1	187	193	32:30	1	200	200	32:30	1	200	200
32:41	1	187	193	32:41	1	200	200	32:41	1	200	200
32:52	1	187	193	32:52	1	200	200	32:52	1	200	200
33:03	1	187	193	33:03	1	200	200	33:03	1	200	200
33:14	1	187	193	33:14	1	200	200	33:14	1	200	200
33:25	1	187	193	33:25	1	200	200	33:25	1	200	200
33:36	1	187	193	33:36	1	200	200	33:36	1	200	200
33:47	1	187	193	33:47	1	200	200	33:47	1	200	200
33:58	1	187	193	33:58	1	200	200	33:58	1	200	200
34:09	1	187	193	34:09	1	200	200	34:09	1	200	200
34:20	1	187	193	34:20	1	200	200	34:20	1	200	200
34:31	1	187	193	34:31	1	200	200	34:31	1	200	200
34:42	1	187	193	34:42	1	200	200	34:42	1	200	200
34:53	1	187	193	34:53	1	200	200	34:53	1	200	200
35:04	1	187	193	35:04	1	200	200	35:04	1	200	200
35:15	1	187	193	35:15	1	200	200	35:15	1	200	200
35:26	1	187	193	35:26	1	200	200	35:26	1	200	200
35:37	1	187	193	35:37	1	200	200	35:37	1	200	200
35:48	1	187	193	35:48	1	200	200	35:48	1	200	200
35:59	1	187	193	35:59	1	200	200	35:59	1	200	200
36:10	1	187	193	36:10	1	200	200	36:10	1	200	200
36:21	1	187	193	36:21	1	200	200	36:21	1	200	200
36:32	1	187	193	36:32	1	200	200	36:32	1	200	200
36:43	1	187	193	36:43	1	200	200	36:43	1	200	200
36:54	1	187	193	36:54	1	200	200	36:54	1	200	200
37:05	1	187	193	37:05	1	200	200	37:05	1	200	200
37:16	1	187	193	37:16	1	200	200	37:16	1	200	200
37:27	1	187	193	37:27	1	200	200	37:27	1	200	200
37:38	1	187	193	37:38	1	200	200	37:38	1	200	200
37:49	1	187	193	37:49	1	200	200	37:49	1	200	200
38:00	1	187	193	38:00	1	200	200	38:00	1	200	200
38:11	1	187	193	38:11	1	200	200	38:11	1	200	200
38:22	1	187	193	38:22	1	200	200	38:22	1	200	200
38:33	1	187	193	38:33	1	200	200	38:33	1	200	200
38:44	1	187	193	38:44	1	200	200	38:44	1	200	200
38:55	1	187	193	38:55	1	200	200	38:55	1	200	200
39:06	1	187	193	39:06	1	200	200	39:06	1	200	200
39:17	1	187	193	39:17	1	200	200	39:17	1	200	200
39:28	1	187	193	39:28	1	200	200	39:28	1	200	200
39:39	1	187	193	39:39	1	200	200	39:39	1	200	200
39:50	1	187	193	39:50	1	200	200	39:50	1	200	200
40:01	1	187	193	40:01	1	200	200	40:01	1	200	200
40:12	1	187	193	40:12	1	200	200	40:12	1	200	200
40:23	1	187	193	40:23	1	200	200	40:23			

【結果のグラフ：表1をもとに R（赤）、G（緑）、B（青）値のグラフ例 個体1、2】

グラフ1 トマトNo.1の色変化



グラフ2 トマトNo.2の色変化



6 結論 (グラフからいえる傾向) ①緑色に見える早熟トマトの色は、数値的には R（赤）、G（緑）、B（青）の要素から成り立っている。その R G B 値の含まれる割合は、赤>緑>>青である。 ②トマトの成熟の過程で緑が赤に変わる過程は、“青成分の減少⇒青に続く緑成分の減少”の結果であり、赤成分についてはほとんど変化しないか、又はやや増加する程度である。 ③R G B 値のどの値も、大きな減少傾向〔G（緑）、B（青）〕の他に周期的な増減（グラフの凹凸）が見られる。この増減は赤のグラフについても見られる。④どのトマトの場合でも、2日間程度で色が緑から赤に急激に変化する。（23℃程度の条件下について）

7 考察（結論から考えられること）・結論①について： 成熟前の、緑色のトマトの色は確かにやや薄い色の緑であるが、画像的に分析すると R（赤）、G（緑）、B（青）の3色が赤>緑>>青の割合で含まれているという結果になったのは驚きであった。特に少ないとはいえ青の成分が一定量含まれていることには興味が湧いた。また、肉眼では緑に見えるトマトも赤の成分を多く含むことも意外であった。 ・結論②について： 各グラフにおける、成熟前段階での初期の“青成分の減少”は、トマト内の青い物質が減少するというよりも、同じ緑色のトマトでもその緑色の濃さが薄く変わっていくことと関係があるように思われた。実際の色変化を記録した多数の静止画を動的に連続して観察すると、赤くなる前に緑が薄くなるように観察される。 ・結論③について： この実験で作成されたグラフには一定時間毎の増減（凹凸）が見られる。この原因について考えてみると、夜間は温室上部に吊るされた植物栽培用蛍光灯の明かりで照明されており、昼間は窓から入射する自然光と蛍光灯の両方の光で照明されている。また、自然光は1日の時間帯によって、含まれる波長の割合が変化したり、強弱に変化が起こる。同じ色の物体でも照射される光の質によって色が変わることが考えられる。この影響について確認するためには、同じ光で照明されている条件下のトマトの色変化を分析する必要があると思われる。⇒ 発展実験1 ・その他に、観察していて気がつたことであるが、未熟なトマトでは、トマトの大きさが大きくなるまでは色がほとんど変化せず、十分な大きさに成長してから色が緑から赤に変わると思われた。この画像から肉眼で観察された傾向についても、このソフトを使い果実の大きさの変化とその成長過程における色の変化（色の微弱な変化）を確かめたいとおもった。⇒ 発展実験2

発展実験1 『同じ性質の光で照明されている状態での、トマト成熟過程の色変化の分析』

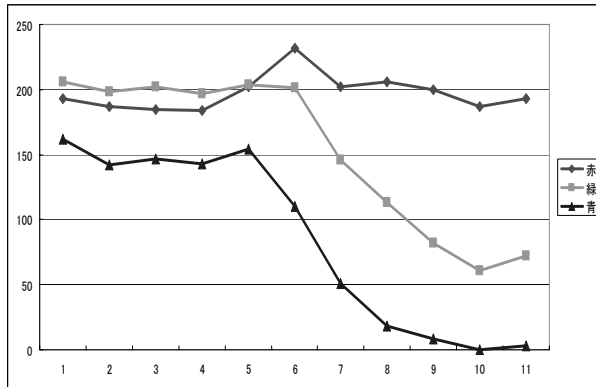
1 目的 上記実験で計測した R G B 値の中から、照明条件がほぼ同じと思われる時刻を選び出し、その時刻の分析値だけで色変化のグラフを作成する。照明条件がほぼ一定と思われる時刻として、A 正午 12：00：（昼間の窓から入射する光は、蛍光灯の光に対してはるかに強い。また、同じ正午 12：00 といってもその日の天候（快晴・曇り・雨天）によって、変化する可能性があるが、昼間の時

刻では比較的安定していると考えた)、**B午前0:00**:(この時刻は温室上部の植物栽培用蛍光灯の光だけで照明されている) 以上の2種類の時刻に注目した。

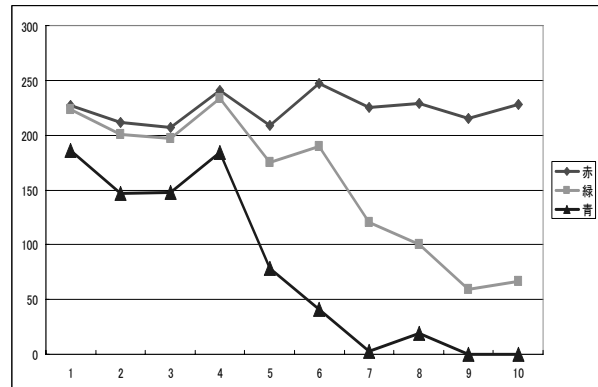
2 方法 記録した画像にプリントされている時刻を元に、正午12時と午前0時のデータを抜き出してグラフを作成する。

3 結果 例【トマトNo.2】

グラフ3 正午12時のデータで作成したグラフ



グラフ4 深夜0時のデータで作成したグラフ



特徴:(正午12)時果実の成長時期である前半は、RGB値の明確な変化はあまりないが、成熟に伴う色変化の時期に入ると、青の急激な減少とそれに続く緑の減少が見られる。(深夜0時)全体的なグラフの凹凸は減少した。緑と赤の凹みが一回と青の凸が一回見られたが、なだらかなグラフとなった。

【3個体の全体的な傾向】 ①どの個体の場合も、正午12:00時と午前0:00でグラフの凹凸が減少している点と青成分の減少に続く緑成分の減少が共通して見られる。特に正午12:00では天候の変化によって光の質の影響を十分受けていると考えられる割にはなだらかなグラフになった点も興味深い。②どの個体の場合も、深夜0:00時では、照射ライト(植物栽培用蛍光灯)だけの影響が現れていると考えられるにもかかわらず、グラフに多少の凹凸があるのは気になる点である。測定上の誤差が生じている可能性が考えられる。※トマトは球形でしかも表面に光沢があるのでポインターの位置が少しずれてもその影響が大きく出る可能性も考えられる。このような測定部位の微妙なズレが、誤差に影響しているのかも知れない。

4 結論 ①トマトの色が緑色から赤色に変わるのは、赤の成分はほぼ変わらずに、緑色と青色の成分の減少によるものと考えられる。②特に青色の成分の減少が早く起こり、減少の割合も大きい。③青、緑、赤の成分の時間による変化(グラフの凹凸)は、昼間の天空からの光の成分の変化と、常時点灯している栽培用ライトの光の影響と考えられる。④正午12:00時と深夜0:00時のデータを集めたグラフより、青、緑、赤の変化の傾向は、全ての測定結果をグラフ化したときのグラフと本質的には類似していると判断できる。

5 考察 ①RGB値の変化で見ると、どの個体でも“最初に青の著しい減少”が見られ、“続いて緑の減少”が見られる共通性がある。これは、トマトの表面の物質変化としてとらえた場合、どのような物質が変化、消失するのかの解明が次の段階である。特に“最初に青の著しい減少”を起こす過程の原因となる現象に注目したい。2番目の“続いて緑の減少”は、これは果実表面の葉緑体の減少が関与していると思われる。②赤の成分がほとんど変化しないのは、トマトの赤の主成分がカロテンやリコピンであることを考えると、これらの物質が緑色の未熟な果実の状態からすでに存在していたのか、それとも赤く成熟する過程で生産されたものなのか興味深い。次の段階は、成熟過程のトマトに含まれる各種物質の種類と割合を生化学的に調べる実験を行い、その結果を色変化と関連付けることであると思われる。

発展実験2 『果実の拡大成長過程における大きさの変化と色変化の分析』

- 1 目的 ①緑色の小さい果実が大きな果実になる成長の過程を詳しく分析する。②緑色のまま拡大成長を行う果実の色変化を分析する。
- 2 方法 ①本実験で記録した静止画の中から、トマト No.1～3 の果実が拡大成長する過程の静止画を選択する。②果実の拡大成長の精密な計測は、記録画像上でフリーソフト“2点間計測器”を使い、画像上にある果実の、赤道面の直径部分を計測する。このソフトは、画像上に示した二点の距離をその二点間に存在するドット（点）の個数として計測することができる。そのドット数を相対的な長さとして、成長の過程をグラフ化する。

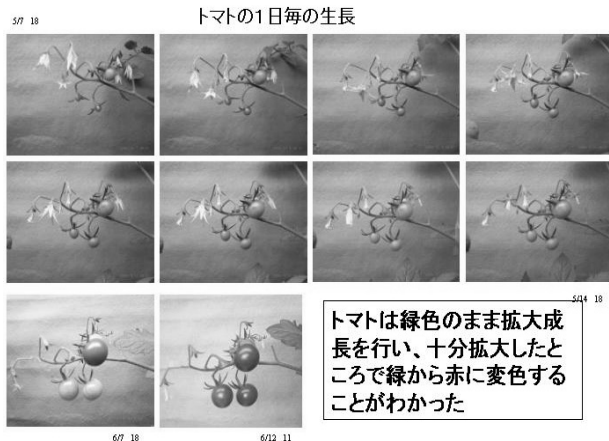


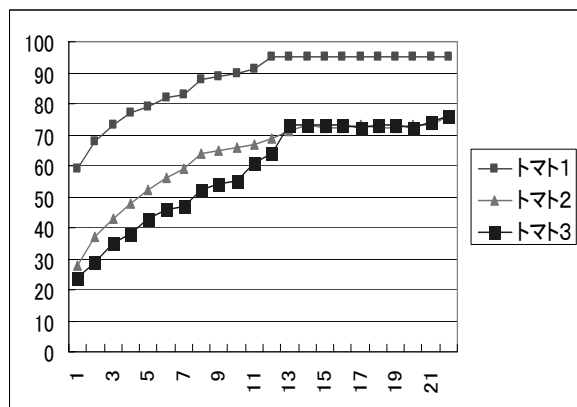
写真6 トマトの拡大成長の様子（1日毎の抜粋）



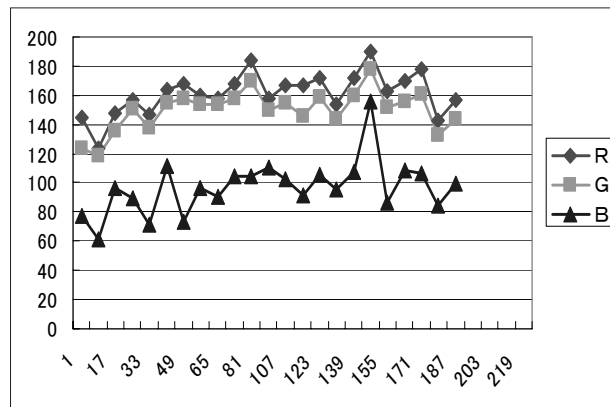
写真7 赤道面の直径部位の計測

③さらに、果実の拡大成長過程を示す静止画のトマト No.1～3（緑色）の中央部の色の変化をフリーソフト「Point Color Viewer Ver 0.02」を利用して詳細に分析しグラフ化する。

3 結果 グラフ5 赤道面直径の大きさの変化



グラフ6 拡大成長時の色変化例 個体3



- 4 結論 ・どのトマトの場合も拡大成長の初期と終期では、R G B 値の数値の割合が同様である。・肉眼の観察では、トマトの成長途中で緑の色に大きな変化は見られないが、どのトマトの場合も青成分については緩やかな増加が見られる。

【今後の発展】今回は徐々に変わる色の変化をコンピューターとフリーソフトを使って分析した。この方法はいろいろな生命現象の分析に使えるので、今後は野外の樹木の新緑の変化や紅葉などの色変化の分析にも活用してみたい。