



Title	細胞分裂の速度に対する温度の影響
Author(s)	倉林, 正尚; KURABAYASHI, Masataka
Citation	低温科学, 7, 127-137
Issue Date	1951-09-05
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/17505">https://hdl.handle.net/2115/17505</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	7_p127-137.pdf



## 細胞分裂の速度に対する温度の影響\*

倉 林 正 尚

(北海道大學理學部 植物學教室, 低溫科學研究所 生物學部門)

(昭和21年11月受理)

細胞分裂の進行が低溫において遅延することは、ムラサキツユクサの雄蕊毛の細胞の生體觀察にて認められている (Wada 1944)。

一般の組織の分裂速度はこのような直接觀察による方法で調べることはできないが、外部から分裂像に影響を及ぼすような処理を加え、その作用の現われを時間的に追跡して行くことによつて間接にこれを知ることができる。ここではその処理として X 線を選んだ。X 線は生物に對し種々な作用を爲すが、分裂組織に對する最も特徴ある作用は染色體變異の誘起である。豫備的な試験の結果、適當な強度を 80 r に決めた。

或る溫度における分裂速度を測定するために、X 線照射後直ちにその溫度に保たれた恆溫器に植物體を移し入れた。このような急激な溫度條件の變化が細胞分裂の進行に如何に影響するかを X 線處理を施さぬ材料で更に検討を加え、兩實驗の結果を照合することにより、溫度の變化を受けた場合の細胞分裂の進行状態を可なりよく把握することができた。

### 材料及び方法

使用された植物はツクバネソウ *Paris tetraphylla* A. Gray ( $2n=10$ ) であつて、固定及び染色方法は前の論文 (倉林 1948) に述べた通りである。X 線を照射した場合は 1 枚のプレパレートに 3~5 個の胚珠を同時になすりつけた。分裂の進行状態をしらべるためには球形の胚珠 1 粒を別々にカバーガラスの下に入れ、靜かに押さえつけて、ちょうど 1 細胞層の圓板になるようにした。そしてその圓板狀の胚珠 1 粒の全細胞を、休止期: r, 前期: K, 中期: M 及び後期: A\* に分類して數え、全細胞數に對するこれ等の 1,000 分比を求めた。

### 實驗及び觀察

實驗 I. 20°C, 10°C 及び 0°C における分裂速度

\* 北海道大學低溫科學研究所業績 第 130 號。

\* Wada (前出) の採用した分裂期の分け方と、ここで爲された分け方とを對比すると次の如くである。

休止期: r—Wada の休止期, 前期の一部 (A—b~PK) 及び終期全部。前期: K—Wada の Metakinesis (Meki I, MeKi II)。中期: M—Wada の Metphase。後期: A—Wada の Anaphase (FA~SA)。

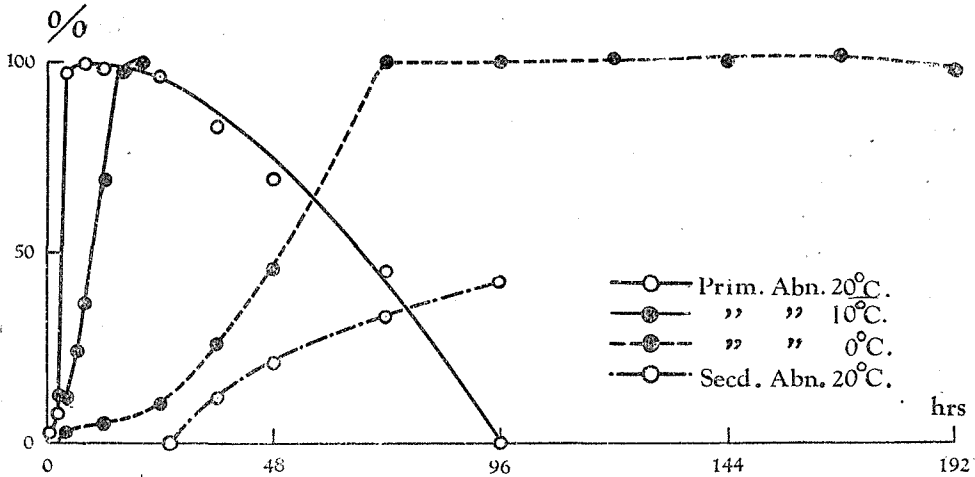
材料約70個體にX線を80r照射し、内2個體を直ちに固定、残りを3分し、それぞれ20°C、10°C及び0°Cの恆溫器に入れた。おのこの恆溫器より、適當な時間にそれぞれ2個體ずつを取出してその胚珠を固定した。

i) 異常分裂細胞の時間的變化

異常分裂細胞は、X線により生じた染色体變異を有する細胞が分裂を始め、染色体が個別されるに至つて觀察される。20°C、10°C及び0°Cにおける異常分裂細胞の頻度の時間的變化を

第1表 (Table 1) 20°C、10°C及び0°Cにおける正常分裂 (Normal), 1次的異常分裂 (Prim. Abn.) 及び2次的異常分裂 (Sec. Abn.), 頻度 (Freq.) 及び百分比 (%). 第2欄は固定時間 (Hrs) を表わす.

Temp.	Hrs	Normal		Prim. Abn.		Sec. Abn.	
		Freq.	%	Freq.	%	Freq.	%
20°C	0	100	100.0	0	0.0	0	0.0
	1/6	207	97.2	6	2.8	0	0.0
	1	96	98.0	2	2.0	0	0.0
	2	135	92.5	11	7.5	0	0.0
	4	2	3.2	60	96.8	0	0.0
	8	1	0.6	165	99.4	0	0.0
	12	3	1.9	155	98.1	0	0.0
	24	8	4.3	178	95.7	0	0.0
	36	13	5.0	216	83.1	31	11.9
	48	35	9.0	271	69.7	83	21.3
10°C	2	297	87.1	41	12.1	0	0.0
	4	367	88.4	48	11.6	0	0.0
	6	194	76.1	61	23.9	0	0.0
	8	59	63.4	34	36.6	0	0.0
	12	53	31.2	117	68.8	0	0.0
	16	8	2.5	308	97.5	0	0.0
	20	0	0.0	100	100.0	0	0.0
0°C	4	247	97.6	6	2.4	0	0.0
	12	236	95.2	12	4.8	0	0.0
	24	186	90.3	20	9.7	0	0.0
	36	189	73.8	67	26.2	0	0.0
	48	74	54.8	61	45.2	0	0.0
	72	0	0.0	180	100.0	0	0.0
	96	0	0.0	142	100.0	0	0.0
	120	0	0.0	99	100.0	0	0.0
	144	3	2.4	123	97.6	0	0.0
	168	2	3.0	65	97.0	0	0.0
192	6	8.5	65	91.5	0	0.0	



グラフ1: 20°Cにおける1次的 (prim. Abn.) 及び2次的異常 (Secd. Abn.) の全分裂細胞 (前記の *K, M, A* に在る細胞の總和) に対する100百分比及び10°C及び0°Cにおける1次的異常分裂細胞の百分比の時間的變化。

グラフ1及び表1に示した。20°Cにおいて、異常分裂は照射後10分で出現し、8時間で最高は達し、36時間で減少し始め、96時間で消失する。10°Cでは、2時間で出現し、20時間で100%に達する。0°Cでは4時間で出現し、72時間で最高に達し、120時間まで100%を維持し、以後減少するが、192時間後もなお91.5%の異常がある。

今述べたのは照射後、第1回の分裂における異常(1次的異常)である。第1回の分裂で異常な染色體を受取つた娘細胞が分裂を開始すれば、第2回目の異常分裂(2次的異常)が見られる。兩者の識別は次の諸點で爲される: a) 1次的異常における染色體は、1細胞全體としてみると、缺失や重複がないが、2次的異常にはこれ等がある。b) 2次的異常は染色體變異を含まない\*。

2次的異常は20°Cにて36時間で出現し、徐々に増加して、96時間では42%に達しているが、0°Cでは192時間に至るもなお出現しない(グラフ1, 表1)。

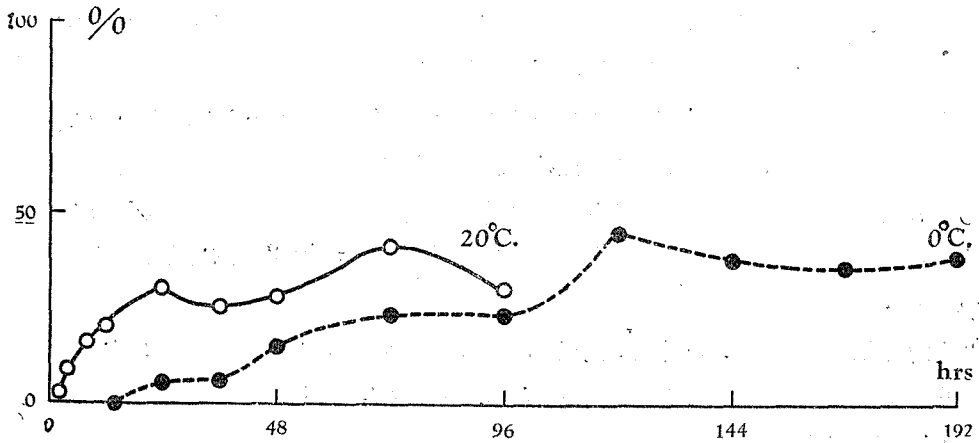
#### ii) 異常休止期細胞の頻度

異常休止期細胞は異常分裂の結果生じた娘細胞である。これには程度の差があつて、正常のものとの區別が困難な場合が多い。統計には、はつきりした異常を示すもののみを取つた(グラフ2, 表2)。20°Cでは2時間で現われ、24時間まで増大し、以後ゆるやかな増減を示す。0°Cでは24時間で現われ、120時間まで増加するが、その増加は20°Cにおけるよりも遙かに緩慢である。

\* 染色體は1本又は2本としてX線に反應する。Nebel(1936, 1937)は半染色體の異常を觀察しているが、これは稀であつて、この統計において無視して差支えないものである。b)の條件の違は勿論眞ではないが、この材料にては、後の論文(倉林1951)に示す如く、1次的異常はほとんど常に同一細胞内に、染色體變異と染色體變異とが混在しているので、識別のよき口安になる。

第2表 (Table 2) 休止期に在る正常 (Normal) 及び異常 (Abnormal) 細胞の頻度 (Freq.) 及び百分比 (%)

Hrs	20°C				0°C			
	Normal		Abnormal		Normal		Abnormal	
	Freq.	%	Freq.	%	Freq.	%	Freq.	%
1	1,000	100.0	0	0.0	—	—	—	—
2	983	97.6	24	2.4	—	—	—	—
4	1,020	91.1	100	8.9	—	—	—	—
8	813	83.6	159	16.4	—	—	—	—
12	931	80.1	231	19.9	1,000	100.0	0	0.0
24	695	69.6	304	30.4	962	94.7	54	5.3
36	763	74.7	259	25.3	996	94.0	64	6.0
48	744	71.7	293	28.3	940	84.8	169	15.2
72	646	58.3	462	41.7	806	76.5	248	23.5
96	638	69.7	278	30.3	746	76.7	227	23.3
120	—	—	—	—	537	55.2	436	44.8
144	—	—	—	—	613	62.4	369	37.6
168	—	—	—	—	710	63.5	408	36.5
192	—	—	—	—	705	61.9	434	38.1



グラフ 2: 20°C 及び 0°C における異常休止期細胞の全休止期細胞に対する百分比.

実験 II. 野外より一定温度に移し入れた場合の分裂各期の頻度の變化

温度の刺戟的變化のない疎林下に生育する個體の胚珠組織にては, *K*, *M* 及び *A* に在る細胞の頻度の相対比はほぼ一定している. (グラフ 3 及び表 3). 今, 植物を野外より 20°C 及び 0°C の恆溫器に移し入れ, 移してから各分裂期の頻度の變化を表 4 及びグラフ 4, 5 に示した.

20°C に移し入れた場合は, 全分裂細胞 (*K*, *M*, *A* の和) 及び各分裂期の頻度はあまり著しい變化を見ない. 0°C に移し入れた場合は, 全分裂期, 中期及び前期の頻度は次第に増加し, 後期は次第に減少する.

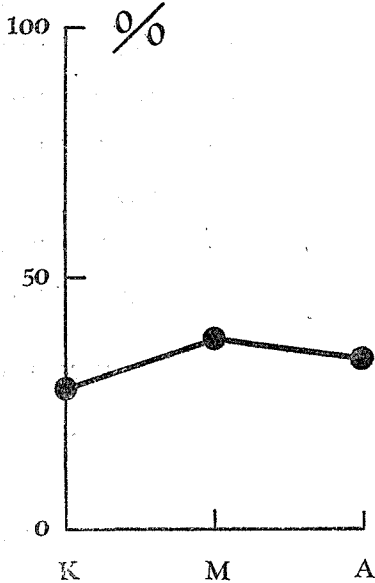
第3表 (Table 3) 5月上旬 (Early May) 及び中旬 (Mid May) にそれぞれ固定された2個体ずつの植物の胚珠組織における *K*, *M*, *A* の頻度 (Freq.) と百分比 (%)

Date of Fixation	<i>K</i>		<i>M</i>		<i>A</i>		Total	
	Freq.	%	Freq.	%	Freq.	%	Freq.	%
Early May	80	29.1	104	37.8	91	33.1	275	100.0
	82	28.1	112	38.4	98	33.6	292	100.1
Mid May	80	29.3	103	37.7	90	33.0	273	100.0
	70	25.6	108	39.6	95	34.8	273	100.0
Total	312	28.0	427	38.4	374	33.6	1,113	100.0

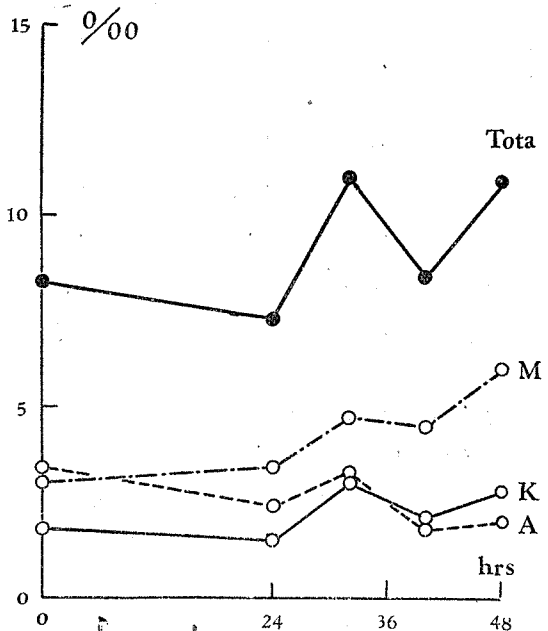
第4表 (Table 4) 野外より 20°C 及び 0°C にそれぞれ移し入れた個体の胚珠組織における *r*, *K*, *M*, *A* の頻度 (Freq.) と千分比 (‰)

Temperature Condition	Hrs	<i>r</i>		<i>K</i>		<i>M</i>		<i>A</i>		Total	
		Freq.	‰	Freq.	‰	Freq.	‰	Freq.	‰	Freq.	‰
		20°C	0*	18,834	991.7	35	1.8	57	3.0	65	3.4
24	21,599		991.4	35	1.6	65	3.0	88	4.0	21,787	1000.0
32	21,099		991.4	42	2.0	66	3.1	74	3.5	21,281	1000.0
40	20,092		992.5	34	1.7	51	2.5	66	3.3	20,243	1000.0
48	21,165		991.4	29	1.4	87	4.1	68	3.2	21,349	1000.1
0°C	24	22,449	992.7	34	1.5	78	3.4	54	2.4	22,615	1000.0
	32	19,650	989.0	60	3.0	93	4.7	66	3.3	19,869	1000.0
	40	19,414	991.6	41	2.1	89	4.5	35	1.8	19,579	1000.0
	48	18,530	989.1	53	2.8	113	6.0	38	2.0	18,734	999.9

\* 0時間における *K*, *M*, *A* の割合が、自生地における場合 (表3, グラフ3) と異なっているのは、材料を地上部のみ折り取つて自生地より実験室まで直射日光の下を1時間以上持運んだためと思われる。



グラフ3: 自生地における *K*, *M*, *A* の百分比.



グラフ4: 野外より 0°C の恒温器に移し入れた場合の全分裂細胞 (Total), *K*, *M*, *A* の千分比.

第5表 (Table 5) 20°Cに24時間保つてから0°Cに移し換えた場合の胚珠組織におけるr, K, M, Aの頻度 (Freq.) と千分比 (‰)

Hrs	r		K		M		A		Total	
	Freq.	‰	Freq.	‰	Freq.	‰	Freq.	‰	Freq.	‰
0	13,852	989.4	41	2.9	55	3.9	53	3.8	14,001	1000.0
2	21,587	988.5	76	3.5	78	3.6	97	4.4	21,838	1000.0
4	18,230	986.5	97	5.2	56	3.0	96	5.2	18,479	999.9
8	19,779	992.6	46	2.3	55	2.8	47	2.4	19,927	1000.1
16	21,983	987.2	107	4.8	118	5.3	59	2.6	22,267	999.9
24	23,762	991.1	50	2.1	93	3.9	70	2.9	23,975	1000.0
48	25,425	987.5	91	3.5	187	7.3	43	1.7	25,746	1000.0
72	22,549	983.0	47	2.0	307	13.4	35	1.5	22,938	999.9
96	22,815	989.5	37	1.6	165	7.2	39	1.7	23,056	1000.0
120	23,236	986.3	43	1.8	205	8.7	73	3.1	23,557	999.9
144	26,536	995.6	21	0.8	59	2.2	37	1.4	26,653	1000.0
168	16,847	994.0	21	1.2	53	3.1	28	1.7	16,949	1000.0

第6表 (Table 6) 0°Cに24時間保つてから20°Cに移し換えた場合の胚珠組織におけるr, K, M, Aの頻度 (Freq.) と千分比 (‰)

Hrs	r		K		M		A		Total	
	Freq.	‰	Freq.	‰	Freq.	‰	Freq.	‰	Freq.	‰
0	22,449	992.2	34	1.5	78	3.4	54	2.4	23,615	1000.0
2	16,091	990.0	41	2.5	78	4.8	44	2.7	16,254	1000.0
4	17,614	989.3	38	2.1	82	4.6	71	4.0	17,805	1000.0
8	17,776	992.1	41	2.3	46	2.6	54	3.0	17,917	1000.0
16	20,629	989.6	36	1.7	97	4.7	84	4.0	20,846	1000.0
24	20,012	990.2	41	2.0	85	4.2	72	3.6	20,210	1000.0
48	23,008	992.1	36	1.6	74	3.2	73	3.1	23,191	1000.0

第7表 (Table 7) 0°Cに48時間保つてから30°Cに移し換えた場合の胚珠組織におけるK, M, Aの頻度 (Freq.) と百分比 (%)

Hrs	K		M		A		Total	
	Freq.	%	Freq.	%	Freq.	%	Freq.	%
0.5	36	16.9	136	63.8	41	19.2	213	99.9
3	87	36.1	71	29.5	83	34.4	241	100.0
5	126	64.3	42	21.4	28	14.3	196	100.0

實驗 III. 一定温度に或る時間保つてから異なる温度に移し換えた場合

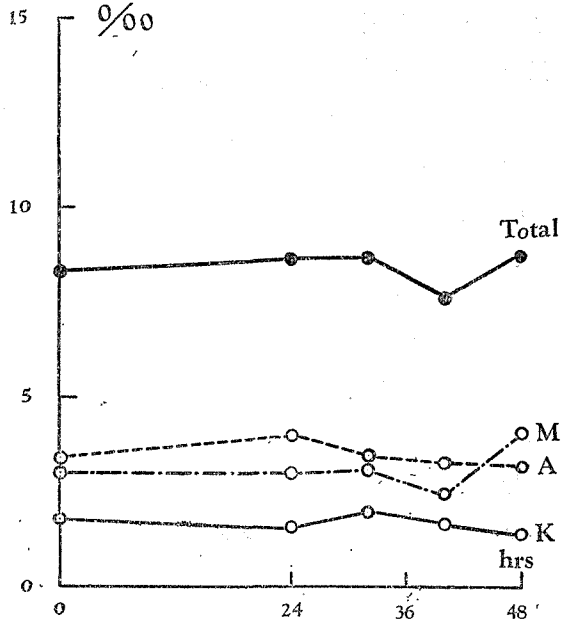
或る温度に移し換える前の温度条件をはつきりさせる目的で、野外の材料をあらかじめ一定温度の恒温器に保つてから異なる温度に移し換えた。

i) 高温より低温に移し換えた場合

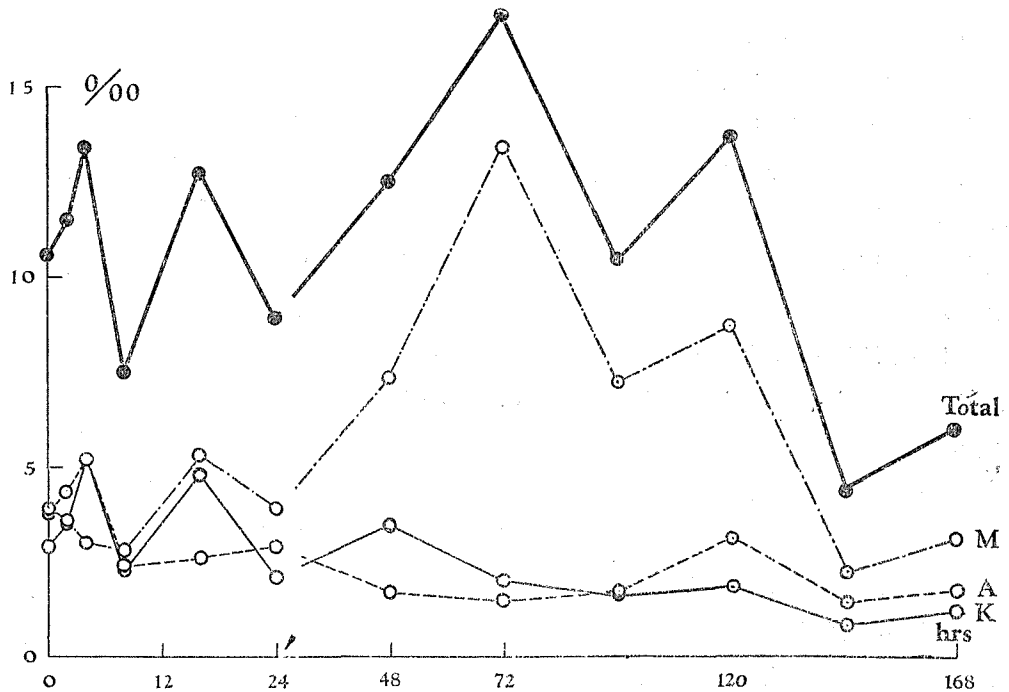
20°C に 24 時間保つた後 0°C に移し換えた (グラフ 6, 表 5). 全分裂像の頻度は初めは増加し, 72 時間で最高に達し, 120 時間以後減少する. 前期は初めは増加するが, のち徐々に減少する. 中期は 72 時間まで著しく増加し, 以後減少する. 後期は著しい変動をしない.

ii) 低温より高温に移し換えた場合

0°C に 24 時間保つてから 20°C に移し換えた. 全分裂期, 中期及び後期の頻度は, 移し換えた直後から 16 時間までの間にやや著しい増減を示すが, 以後はほぼ一定している. 前期は目立つた変化がない. 低温より高温に移し換えた場合の中

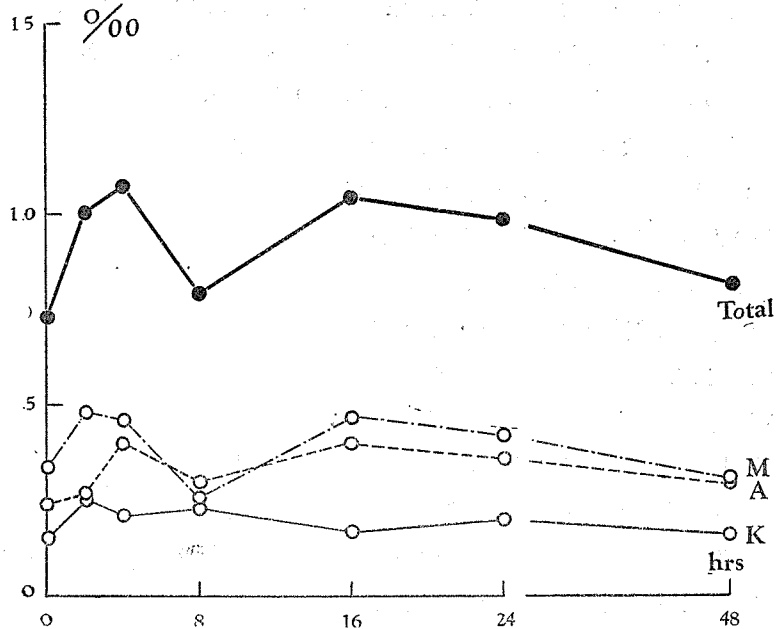


グラフ 5: 野外より 20°C に移し入れた場合.



グラフ 6: 20°C に 24 時間保つてから 0°C に移し換えた場合の全分裂細胞 (Total), K, M, A の千分比 (%)

期及び後期の頻度の變化は、溫度差が大きいと著しく現われる。0°Cに48時間保つてから30°Cに移し換えると、3~5時間目には、前期が中、後期よりも多くなる(第8圖、表7)。これは、0°Cより20°Cに移し換えた場合の8時間目に見られる中、後期の減少と對比されるべきであろう。



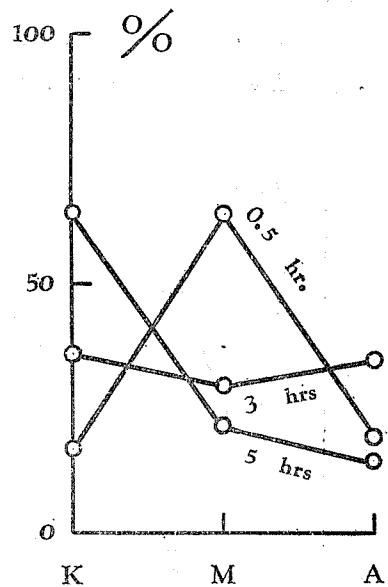
グラフ7: 野外より、20°Cに24時間保つてから20°Cに移し換えた場合

考 察

實驗Iより、20°C、10°C及び0°Cにおける分裂速度を知ることができる。即ち、細胞分裂の過程中、X線に對し感受性强き状態にある時期から分裂期に至るに要する時間は、20°C、10°C及び0°Cにて、それぞれ8時間、20時間及び72時間である、2次的異常分裂の出現する時間から判断して、20°Cにおいて全分裂過程に要する時間は24時間くらいなのに、0°Cにおいては192時間以上を要する。

以上の結果から、20°C~0°Cの溫度範圍では、溫度の低下につれ分裂速度が著しく遅くなることが明らかとなった。

實驗II及びIIIにては、溫度條件の變化が分裂各期の頻度に及ぼす影響について験べた。ここでいう頻度とは分裂の起る頻度ではなく、或る時刻に分裂期に在る細胞の數である。分裂が起る頻度は一定でも、その進行が遅くなれば分裂期の細胞の數が増加し、見掛け上頻度が大になる。分裂の起る頻度は單位時間に分裂を開始する細胞の數で示されるが、これを數えることはこの材料では不可能である。



グラフ8: 0°Cに48時間保つてから30°Cに移し換えた場合のK, M, Aの百分比(%), (移し換えてから0.5, 3, 5時間の値)

グラフ 2 に示された異常休止期細胞の頻度の増大とグラフ 1 の結果とを對比してみると、單位時間に分裂を終る細胞の数は 20°C, 0°C において大差ないと推測される。

高温から低温に移し換えた場合は、分裂の進行が抑制されるが、その中でも中期の遅延が最も著しい (グラフ 6, 表 5)。

低温から高温に移し換えた場合は、分裂の進行は促進されるが、この場合は前期に比し、中期及び後期の方が著しい影響を受け、温度差が大なる場合は後の二者の促進が特に著しい。

このような各分裂期の頻度のちぐはぐな変化は、温度の変化が行われた時からしばらくの間に見られ、時間の経過につれて消失する。そして各分裂期の頻度は次第に温度の刺戟的変化のない自生地における割合 (グラフ 3, 表 3) に近附いて来る。20°C 及び 0°C における X 線による異常分裂の頻度が最高に達する時間と、温度を移し換えた後に見られる分裂各期の頻度の変化が最も著しく現われる時間とがそれぞれ一致すること (グラフ 1, 6, 7) は、分裂細胞が X 線に對し敏感な時期は温度の変化にもまた鋭敏に反應することを示すものである。

この植物の退色部分の反應は温度の変化に應じ、幾つかの中間過程を経て可逆的に進行する (倉林 1948)。そして、一つの中間過程から次の中間過程への移行は極く短時間に起る。その移行時間と分裂の進行速度とを對比してみると (前出 p. 99, 表 1, 2 及び本文グラフ 1 参照), 退色反應は中期及び後期の染色體におい進行し得ると判断される。即ち、核酸の消長は螺旋化の完成された染色體にも行われ、これに伴なつて基質の集積及び消散が起り、染色體の形状が變化すると考えられる。

## 摘 要

1) ツクバネソウの胚珠組織に X 線を照射し、それによる異常分裂の出現の頻度の時間的變化を 20°C, 10°C 及び 0°C にて比較し、低温が分裂を著しく遅延させることを知つた。

2) 異なる温度條件に移し換えることに依つて分裂各期の見掛けの頻度が著しく變化する。これは分裂各期の進行速度が温度の變化に對し、ちぐはぐな遅延促進を蒙ることによるのである。高温より低温に移し換えた場合は中期の遅延が顯著であり、低温より高温に移し換えた場合は中期及び後期の促進が目立つ。

3) 1) 及び 2) の結果を綜合することにより、染色體變異の頻度と細胞分裂の頻度との時間的變化の間に密接な關連を見出すことができる。即ち、X 線に對する染色體の感受性の變化と細胞分裂の進行との相關關係が連続的に捉えられる。

4) この植物の染色體の退色反應の時間的進行状態と分裂の進行速度とを比較して、退色反應に際し、核酸の消長が完成された染色體にも起り得ることが推定される。

終りに當り、この研究を進める上に多くの示唆と批判とを與えられた理學部松浦教授及び低温科學研究所芳賀博士に深甚な感謝を捧げる。

## 文 獻

- Kurabayashi, M., 1948 Effect of temperature upon the differential reaction of chromosomes. *Low Temperature Sci.*, 4, 97.
- , 1951 Effect of temperature upon the induction of chromosome aberrations due to X-ray irradiation. In press.
- Nebel, B. R., 1936 Chromosome structure. X. an X-ray experiment. *Genetics* 21, 605.
- , 1937 do. XII. Further radiation experiments with *Tradescantia*. *Amer. Jour. Bot.*, 24, 365.
- Wada, B., 1944 Studien Zur Kausalanalyse der Mitose. I. Die Mitoseablaufskurve bei den *Tradescantia*-Haarzellen. *Cytologia*, 14, 323.

## Résumé

In the present study the effect of temperature upon the velocity of cell division was investigated in young ovular tissues of *Paris tetraphylla* A. Gray ( $2n=10$ ), which were X-rayed at 80r and kept at 20°C, 10°C and 0°C respectively immediately after the irradiation.

The frequency of the induced aberration in cell division was recorded at profitable time-intervals for each temperature condition (table 1~2, graph 1~2). Based on the timely alterations in frequencies of the primary and the secondary abnormal cell division and abnormal resting nuclei, it was concluded that the time necessary for one nuclear cycle is about 24 hours at 20°C while it is prolonged more than 192 hours at 0°C.

The alteration in the frequency of cell division after the material was transferred to different temperature condition was next researched. All cells of one ovule were recorded distinguishing four groups: resting stage and prophase (r), metakinesis (K), metaphase (M), and anaphase (A). The permillage of the frequencies of r, K, M, A, and the total of the latter three were counted. The proportion of the frequencies of K, M, and A is constant in the field condition where the temperature is not changeable (table 3, graph 3).

After the transference to different temperature conditions the proportions are changed (table 4~7, graphs 4~8). The greater the difference in the temperature condition is the more conspicuous the alteration in the frequencies of the cells in K, M, and A. The increase and decrease in the frequencies is rapid and marked immediately after the transference and are abated gradually thereafter. This change in the frequency does not concern to the change in the actual frequency of cell division but is induced by the prolongation or the quickening of the progress of division stages. The actual frequency of the occurrence of cell division seems to be nearly the same both in high and in low temperature. In low temperature, metaphase is much prolonged and in high temperature quickening of meta- and anaphase is seen.

Detailed examination of the results written above discloses that the modus of the timely alterations in the frequency of chromosome aberration due to X-ray irradiation and those in the velocity of the progress of mitosis are intimately correlative with each other.

Synthesizing the result, the change in the sensitivity of chromosomes to X-ray during the progress of mitosis may consecutively be put forward.

In comparison with the mode of the reaction and the reversion of the differential reactivity of chromosomes of this material (Kurabayashi'48) and the velocity of cell division, it was concluded that rise and fall of the quantity of nucleic acid takes place upon the completed meta- and anaphase chromosomes.