



Title	核及び細胞分裂に及ぼす温度の影響
Author(s)	奥野, 俊
Citation	低温科学, 2, 229-256
Issue Date	1949-10-20
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/17420
Type	departmental bulletin paper
File Information	2_p229-256.pdf



核及び細胞分裂に及ぼす温度の影響

奥 野 俊*

Van't Hoff が生物の生活現象と温度との関係に適用した反応速度温度律 (Reaktionsgeschwindigkeit-Temperatur-Regel) の法則はその儘、總ての生物に許容されるか否かは別として、今日迄なされた多くの研究は温度が生物の生活現象に対して種々の顯著なる影響を齎す事を明らかにした。この温度による生活現象の變化の研究は生物體の構成單位である細胞の物理化學的、生理學的及び形態學的の變化が第一に究明さるべき問題であり、特に核の研究は重要にして且つ興味ある問題である。本文では温度による核及び細胞分裂の形態的異常現象に就て述べたいと思ふ。

核及び細胞分裂に於る異常現象は種々の動因によつて誘起されるが、特に温度の變化、化學藥品、X線照射、紫外線、機械的傷害、滲透壓、組織の再生、遺傳因子、種子の加齢及び雜種に於る染色體の不和合等によつて誘起される事が、多くの研究者によつて明らかにされた。以上のものによる核及び細胞分裂の異常は、多くの點に於て類似した現象を示す場合が多い。この中、温度の影響は自然の状態に於て最も多くの生物體が受けるもので、環境諸要素中顯著な影響を生物體に及ぼすものである。

核分裂の抑制

温度は核分裂に種々の異常現象を誘起せしめるが、これ等の異常は處理温度の程度、核分裂の時期、處理された生物體の種類等により異なる様である。然し一般に見られる共通現象は紡錘絲の機構が亂され、その爲めに染色體の分裂移動が阻害される事と、減數分裂前期に於て染色體の對合が阻止されて、非對合 (asynapsis) の現象が見られる事である。この様な原因により屢々倍數性の細胞が作られるが、特に紡錘絲の攪亂は減數分裂の第一及び第二分裂に於る染色體の兩極への移動を阻害し、倍數性配偶子形成の直接原因となり、又體細胞分裂では2倍性の核を有する細胞を誘起せしめる (倍數性細胞と倍數體の誘發の項参照)。

温度處理により屢々染色體の非對合が誘起されるが、ムラサキツユクサ (*Tradescantia*) では熱處理後數日経過して種々の程度の非對合が減數分裂で誘起され、多くの細胞に於て二價染色體と一價染色體の兩方が見られた (Anderson と Sax 1936)。その後 Sax (1937) は完全な非對合は植物を4日若しくは5日間高温 (初め 8°C で數日間處理したものを更に 38°C で4—5日間

* 低温科學研究所。

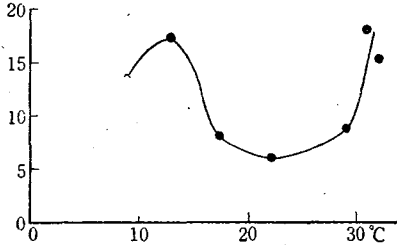
處理す)で處理する事によつて得られたといつてゐる(寫眞 No. 49. 熱處理によつて生じたムラサキツユクサの花粉母細胞に於る非對合染色體. 12 箇の一價染色體が見られる). 正常な状態ではムラサキツユクサの花粉母細胞に於る分裂の前期から中期迄は約 5—6 日の期間を要するが (Sax と Edmonds, 1933), 高温處理後 4—5 日目のものに於てのみ非對合が見られた事は, 温度は染色體の完全な對合とキヤズマ (Chiasma) 形成後は恐らく非對合を誘起できないだらうが, 少くともそれ以前の時期に於る相同染色體の對合とキヤズマ形成を阻害するに效果的影響を有するものである事を Sax (1937) は示唆した. 又松浦氏 (1937, 1940) 及び牧野氏 (1942) は温度による染色體の非對合と對合に對し減數分裂及び體細胞分裂に於る分裂時間の遲滯若しくは促進が重要な要因をなしてゐる事を明かにし, 減數分裂と體細胞分裂の關係に就き興味ある實驗結果を報告した. 松浦氏はオホバナノエンレイサウ (*Trillium kamtschaticum*) の花粉母細胞を減數分裂前に 20°C の高温で處理し (オホバナノエンレイサウは自然の状態では 3 月上旬頃雪の下で減數分裂を行ふ), 第一中期で 5 箇の二價染色體の代りに 10 箇の一價染色體 (二分染色體, Dyad chromosome), 20 箇の染色分體 (Chromatid) 及び 40 箇の半一分染色體 (Halfchromatid) が誘起される事を觀察し, これを 3 つの型に區別した. 最後の場合は前期の染色體は 4 本の分離すべき染色絲からなる事を明らかにしたものである. 以上の事は減數分裂の時間を著しく短縮する事により, 容易に減數分裂を體細胞分裂型に轉換し得べき事を明らかにしたもので, 減數分裂が體細胞分裂と異なる所は前期に於る分裂時間の遲滯によるものであつて, Darlington (1931) の所謂早成説 (Precocity theory) なる假說に對し 1 つの反證を與へたものである. 氏はこの高温により誘發された體細胞分裂と正常な減數分裂の間に種々の中間型の存在する事より Sax (1935) の提唱した遲滯説 (Retardation theory) を支持した. 染色體の對合に對して重要な役割を有する動原體の高温による影響に就ても, 又興味ある事が觀察された. 正常の状態では動原體は染色絲の他の部分に比して對合及び分離に於ても遅れて行動するが, 高温刺激により動原體の不對合が起り, キヤズマ形成の頻度が増大して, キヤズマ接合型の染色體 (正常の状態ではオホバナノエンレイサウは動原體接合型が基本型である) が出現し, 一價染色體の出現頻度が増大して來る事を明らかにした. 即ちキヤズマの形成は減數分裂が促進された時に起るものでキヤズマの不形成が染色體の不對合の證據でなく, キヤズマは二價染色體の接合に對しては第二次的の意味しか有しないもので, 動原體の對合又は不對合によつて染色體の對合又は非對合が起るものである事を實驗的に明らかにした.

オホバナノエンレイサウに於る高温處理による減數分裂の體細胞型への轉換の實驗的研究に對して, 牧野氏は低温處理を行つてクロンヤウジャウバヘ (*Drosophila virilis*) の神經細胞に於る體細胞分裂を逆に減數分裂型に誘導する事に成功した. 約 25°C の温度で飼養せるクロンヤウジ

ヤウバへの老熟せる幼蟲を 5°C の低温で 3—5 日間処理し、食道上部の神経節の細胞分裂を観察した所、細胞は殆んど全部前期の状態で分裂は停止され、これ等の休止の状態の細胞に混在して屢々 6 箇の半數の染色體が見られた (寫眞 No. 50. A, B. クロシヤウジヤウバへの體細胞に於て誘起された減數分裂型の核板. 6 箇の二價染色體 (5 箇は大きく周邊に, 1 箇は小さく中央にあり) が見られる. C, D. 正常な中期核板: $2n=12$). 且つこの半數染色體は全部二價染色體の構造を示すものであることが明かにされた. このことに對して牧野氏は次の様に解釋した. クロシヤウジヤウバへを低温で飼養した爲め神経節の體細胞分裂が抑壓され, 前期の状態が異常に長く續き相同染色體間に接合が起り, その結果一部の細胞に於て減數分裂と同様な染色體の對合が起つたものであると推定した. この實驗結果は松浦氏の研究と全く對蹠的なものであり, 減數分裂の時期が體細胞分裂の時期に比して時間的に長く, これを高温若しくは低温刺戟により分裂速度を時間的に遲滯又は促進させることにより減數分裂を體細胞分裂型へ又體細胞分裂を減數分裂型へ轉換出来る事を證明したもので, 又種々の物理的若しくは化學的刺戟により誘起される單價染色體即ち非對合の問題に對しその出現の原因を明示したものと云へる. ムラサキツユクサおよびオホバナノエンレイサウの場合の如く, 高温または低温の刺戟により減數分裂の中期に於て二價染色體の代りに一價染色體の出現又は早期の分離の異常現象はユリ科の *Uvularia grandiflora* と *Uvularia perfoliata* (Belling, 1925), キバナノアマナ (*Gagea lutea*) (坂村及び須藤, 1926), ジャガイモ (*Solanum tuberosum*) (須藤, 1926), ヤブランの變種 (*Liriope graminifolia*) とスルボ (*Seilla japonica*) (下斗米, 1927), マツモトセンノウ (*Lychnis Sieboldi*) (高木, 1928), リンゴ (*Malus*) (Heilborn, 1930), コムギ (*Triticum*) と *Aegilops* の雜種 (片山, 1931), ムラサキオモト (*Rhoeo discolor*) (Straub, 1936) 及びホウセンクワ (*Impatiens Balsamina*) (中村, 1936) 等によつて見られてゐる. これ等のものも温度の影響により前期に於る分裂の過程が促進された事によるものであり, 又そう考へられるものである. 以上は何れも植物に於て見られた場合であるが, 動物に於てはこの様な例は無い様である. 極く最近吉田氏 (未發表なるも, 昭和 19 年 2 月 24 日札幌談話會にて講演) はオホテントウムシ (*Synoycha grandis*) の成熟分裂で正常なもの他に, 染色體の非對合の異常現象が見られた事を報告した. この非對合は精原細胞囊により常に一定して現れ, 3 つの型がある事を明かにした. オホテントウムシに見られたこの様な非對合は植物に於て温度處理により屢々生ずる場合と同様な機構で誘起されたもので, 高温の刺戟がその原因であらうと推定した.

温度の變化がキヤズマ頻度を變化せしめたといふ實驗結果が報告されてゐるが, Plough (1917, 1921), Stern (1926) 及び Graubard (1934) はシヤウジヤウバへ (*Drosophila melanogaster*) で温度の影響により交叉値が變化する事を觀察した. 第 3 圖は Plough の實驗結果の圖表で, 交

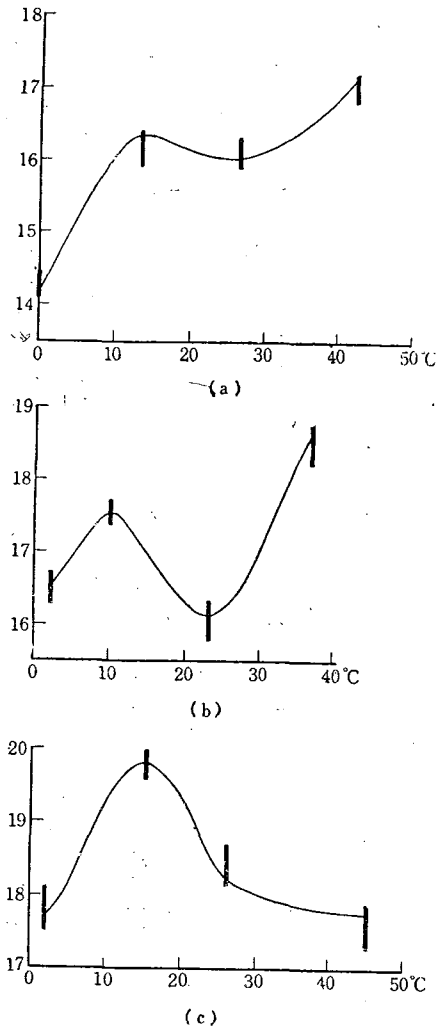
又値は 14°C と 31°C で 2 つの最高點を有する二峰曲線の變化を示したものである。その後 White (1934) はシャウジャウバへの實驗結果と比較する意味を含めて、直翅類蝗族 (*Acridid e*) の昆蟲 3 種を使用して温度とキヤズマ頻度の變化を詳細に研究した。使用された 3 種の昆蟲は



第3圖 シャウジャウバへ (*Drosophila melanogaster*) の交叉値に及ぼす温度の影響を示す。

Locusta migratoria, *Schistocerca gregaria*, *Stenobothrus parallelus* で、何れも 30°C の温度で飼養されたものである。實驗に當り、特に同じ年齢の材料が選ばれた。それは年齢の差違がキヤズマ頻度に影響を及ぼす事がシャウジャウバへで知られてゐるからである (Stern, 1926)。處理した温度は *Locusta* は 0° , 13° , 26° , 42°C , *Schist. cerca* は 2° , 15° , 26° , 45°C , *Stenobothrus* では 2° , 10° , 23° , 37° であつて、飼養

温度 30°C を中心にして低温及び高温の兩方が用ひられた。染色體は *Stenobothrus* では、既に Darlington と Dark (1932) によつて調べられた通りで、減數分裂で 8 箇の二價染色體と 1 箇の性染色體が見られ、*Schistocerca* 及び *Locusta* では 11 箇の二價染色體と 1 箇の X 染色體からなる事が明らかにされた。減數分裂は低温及び高温の兩極端の温度處理に於ても、大體正常に行はれるが、*Schistocerca* と *Stenobothrus* で 4 倍性の精母細胞が幾らか現れ、又 *Locusta* では二重尾を有する精子が僅か見られた。第4圖は 3 種の昆蟲のキヤズマ頻度を示した曲線であるが、何れに於ても 0°C より急激に上昇し、約 10° — 15°C 附近で第 1 の最高點に達し、次に降下して來るが、更に 30°C 近くの所で再び上昇し致死温度の所で第 2 の最高點に到達するのが見られる。以上の結果を綜合すると、3 種の昆蟲に於る温度の影響によるキヤズマ頻度の變化を示す曲線はその細部に於て多少異なるが、譬へば *Schistocerca* と *Stenobothrus* では何れも第 1 の最高點到達後の降下は顯著であるが、*Locusta* は前 2 者に較べて著しくない。又 *Schistocerca* では 45°C の致死温度附近に於て *Stenobothrus* 及び *Locusta* に於るが如き第 2 の最高點が見られない。然し大體に於て類似した曲線を示し、シャウジャウバへの温度による交叉値の變化と同一形式の二峰曲線を示すものである事が明示された。その後 Politzer (1940) は温度によるキヤズマ頻度の變化を調べ、シャウジャウバへの第 3 染色體の交叉値が 14°C と 31°C で増大する事を確めた。この實驗結果は Plough や White の結果と一致するものであり、特に Plough の實驗と全く同一の結果を得た事は非常に興味ある事と思ふ。以上はキヤズマ型に對する間接的證明の 1 つと見做す事が出来るが、温度の影響が二峰曲線の形で現れて來る本質的な理由及びこの様な二峰曲線が一般の生物、特に一般の動物に於ても見られるか否かに關する適確な解釋と實驗は未だ行はれてゐない様である。



第4圖 *Locusta migratoria* (a),
Schistocerca gregaria (b) 及
び *Stenobothrus parallelus* (c)
の交叉値に及ぼす温度の影響を示す。

が主なる原因であらうと考へた。

前述せるが如く松浦氏 (1937, 1940) はオホバチノエンレイサウを高温処理して、種々の異常現象を観察したが、高温刺戟により動原體の不對合が起り、キヤズマ形成の頻度が増大し、キヤズマ接合型の染色体が現れて來る事を報告した。このキヤズマ形成は温度刺戟により減數分裂が促進された爲めに起るもので、キヤズマは二價染色体の對合に對して第二次的の意義しか有しな

Sax (1935) はライムギ (*Secale cereale*), ソラマメ (*Vicia Faba*) 及びムラサキツユクサ (*T. adscantia*) のキヤズマを調べ、キヤズマ頻度が環境の差違、特に温度の差違によつて變化するものである事を示唆した。ライムギでは Sax (1930) がそのキヤズマ數が1又は2である事を報告したが、Darlington (1933) は日本産の異數體 ($n=3$) の材料でキヤズマ數は0—4で平均數2.4であることを確めた。その後 Sax (1935) はライムギの5變種を用ひて詳細にそのキヤズマ數を調べた所、3つのものは平均1.9, 残りの2つは平均2.0のキヤズマ頻度を示したと報告した。又ソラマメで前田氏 (1930) はM染色体で平均3.1, m染色体で平均3.5のキヤズマ頻度を示したと報告した。一方 Barrette (1932) はM染色体で5又は6のキヤズマしか觀察出來なかつたといつてゐる。これに對して Sax の觀察結果はM染色体で平均6.7, m染色体で平均2.6であつた。Darlington (1930) はソラマメに於るキヤズマ頻度の差は個體間の因子型の差違によるものであらうと考へたのに對して、Sax は Darlington のライムギ, 前田氏のソラマメは何れも日本産のものである事より、キヤズマ頻度に於る Sax の觀察結果と前2者の結果の差違は生育地、從つて環境の差によるものであらうと推測し、ムラサキツユクサのキヤズマ頻度が温度の影響により變化する事を實驗的に確め、この結果から環境の差違の中、特に温度の差違

いものである事を明らかにした。

染色体の異常

染色体の切斷、轉座、逆位、融合、缺失等の構造的變化は多く X 線照射等の物理的方法によつて多く誘起される事が古くから知られてゐるが、溫度によつても染色体の構造的變異が齎される事が知られてゐる。須藤氏 (1927) はジャガイモ (*Solanum tuberosum*) を 29°—39°C の高温で處理し、染色体の切斷が花粉母細胞の中期で起るのを見た。その爲 24 の正常な染色体數の代り 56 の染色体が中期で數へられた。Peto (1935) は高温で處理したオホムギ (*Hordum*) の芽生の根の細胞に於て染色体の融合及び切斷を觀察した。又 *Aloe arborescens* では高温は花粉母細胞の減數分裂に於る染色体の切斷と融合を誘起せしめるに非常に効果的である事を Camara (1935) が提唱した。Kirnosowa (1936) はオニタビラコ屬の *Crepis tectorum* の種子を 25°—50°C で處理し、根端細胞で染色体の轉座を起した異常細胞を見た。尙異常染色体の出現頻度は處理溫度に比例した。Swanson (1940) はムラサキツユクサの自然の雜種である *Tradescantia canaliculata* × *Tradescantia humilis* の F₁ 及びその正逆雜種を用ひて逆位を調べ、高温はキヤズマ形成を増し、特に染色分體の中間の部分に於て著しい事を見た。その爲染色体の分離の不完全によつて生ずる染色体の橋の頻度も増加して來る。隣接部分若しくは重複逆位によつて重複交叉の生ずる事があるが、この結果新しい染色体が形成される可能性がある。

以上は高温によつて染色体に構造的の異常が齎された例であるが、低温によつて異常が誘起された場合も知られてゐる。Belling (1925) のはユリ科の *Uvularia grandiflora* と *Uvularia perfoliata* の花粉母細胞の染色体が低温の影響により縊の所で切斷するのを見た。この様な染色体の切斷した場合が 4 例見られたがその中の 1 例に於て切斷した 1 つの部分か他の相同染色体の端に附着して、巨大な染色体を構成してゐるのが第二分裂の後期の早い時期で觀察された。Rick (1940) はムラサキツユクサの自然の雜種 (*Tradescantia canaliculata* × *Tradescantia humilis*) から分離した個體を用ひて、X 線による染色体の異常を調べたが、供試植物を低温と高温の状態にして X 線照射した場合、低温と高温で染色体異常の誘起される頻度が異なる事を知つた。低温の場合が高温に比して異常頻度が非常に高く、特に染色体缺失に於て著しかつた。その實驗結果を表で示すと次の如くである。

溫度	照射量	觀察した 染色体數	缺 失		
			數	%	比
3°C	300 r	3894	203	5.26	2.85
33°C	300 r	2988	54	1.84	1
3°C		2100	0	0	0

尙 X 線の強度は 100 r/分。時間は 3 分。

上表に示されてゐる如く、 3°C で X線照射をしなかつたものでは全然異常は見られなかつた。この事から Rick はこの實驗に於る染色體の異常に對し別に温度の影響を考慮してゐなく、又その他の理由として Sax と Enzmann (1939) が種々異なる温度の状態のもとで X線照射をした時低温及び高温の何れも同数の異常を誘起した例を擧げてゐる。

低温より高温へ急激に温度を變へて染色體の異常を調べた實驗は Sax (1937) によつてなされた。 18°C の温室で育成したムラサキツユクサを1週間低温室に入れ、これを急に高温室に移して8日間置き、更にこれを温室に移して4日後に花粉母細胞を鏡見した所、染色體の融合及び切斷が第一及び第二分裂を通じて見られたといふ。又彼は熱處理後1週間目のものに於て部分交換によつて生じた染色體環を観察した(寫眞 No. 51. 熱處理をしたムラサキツユクサの花粉母細胞に於る第一中期の核板. 部分交換によつて生じた染色體環が見られる)。尙處理1週間後のものでは核及び細胞分裂の異常は花粉母細胞の約半数に於て見られ、これ等の異常現象の出現頻度は低くなるが、數箇月間繼續して見られた。

次に低温によつて誘起される染色體の異常現象中、最近興味ある事が發見された。それは 0°C 附近の低温のもとで核分裂が行はれる時、染色體の特種部分が正常な部分に比較して細くなり、且つ色素に對して染りが悪くなる現象である。この染色體の特殊な反應は Darlington 及び La Cour (1933) がツクバネサウ屬の *Paris polyphlla* の根端細胞の核分裂で初めて發見したもので、彼等はこの現象を染色體の分化反應性 (Differential reactivity) と名づけた。この現象は初め *Paris polyphlla* の根端細胞を固定する前に硝酸蒸氣で處理したものに於て見られたもので、硝酸蒸氣は固定液の滲透を良くする目的で使用されたものである。従つてこの染色體の特殊反應は硝酸蒸氣の影響によるものではないかと一應考へられるが、この現象は全く低温によつて誘起されるものである事が、Darlington 及び La Cour のその後の研究 (1940, 1941) 及び Geitler (1941) の研究によつて明かにされた。即ち硝酸蒸氣を使用せず、低温處理のみで常にこの現象が現れて來る事が確められた。又芳賀氏は最近 (1943) オホバナノエンレイサウ (*Trillium kamtschaticum*) を 0°C の状態に保ち、その根端細胞の染色體に於てこの特殊反應が誘起される事を見た(未發表)。

低温の影響による染色體の特殊反應は植物の種類、特に各植物に於る核分裂の週期及び組織の差違によつてその發見の程度が異なる。譬へば Darlington 及び La Cour (1940, 1941) の研究によるとエンレイサウ屬 (*Trillium*)、ツクバネサウ屬 (*Paris*) 及びクロユリ屬 (*Fritillaria*) に含まれる總ての植物は根端細胞では2日—3日間温度 3°C 以下の状態で分裂を繼續する時、この特種反應が現れるが、然しムラサキツユクサ (*Tradescantia bracteata*)、シヤクヤク (*Paeonia anomala*)、ヒヤシンス (*Hyacinthus orientalis*)、マルタユリ (*Lilium Martagon*)、タマネギ

(*Albium cepa*), スイセン屬 (*Narcissus*), *Galanthus*, *Uvularia* 等では異常は見られなかつた。又3倍體の *Fritillaria pudica* の根端細胞では 0°C で3日間處理する時反應が見られるが、花粉粒では 0°C で3週間處理されて初めて染色體の特殊反應が誘起される(寫眞 No. 52. 低温處理 (0°C , 約3週間處理) により分化反應を示した *Fritillaria pudica* の花粉粒に於る染色體. A. 中期, B. 後期). この特殊反應は多く根に於て見られてゐる現象であるが、エンレイサウ (*Triticum erectum*) とオホバナノエンレイサウでは子房壁に於ても見られてゐる。

Geitler (1940) はこの染色體の特殊反應は自然の状態に於ても誘起される事を示唆した。即ち零下 2°C から 2°C 迄の氣温のもとに生育するレンプクサウ (*Adonis moschatellia*) に於てこの特殊現象を見てゐる。尙興味ある事は Geitler は分化反應を示してゐるものを正常な温度に戻す時、一定時間経過するとこの異常現象が見られなくなり、又このものを 0°C 附近の温度で處理すると再び特殊反應を示す事を實驗的に明かにした。この事は染色體の分化反應は低温の一時的の刺戟による影響でない事を示すものであり、又反應の可逆性を示す1つの證左である。

次に低温が如何なる過程で染色體の分化反應を誘起するか興味ある問題であるが、これに就て Darlington 及び La Cour は次の様な説明をしてゐる。常温では核酸は染色體の各部分に一樣に供給されるが、低温の状態では核酸の供給が減少して、核酸に對して反應力の強いオイクロマチン (Euchromatin) の部分にのみ蓄積される事により分化反應が現れるのであらうと考へ、又色素に對して染りの悪い部分がヘテロクロマチン (Heterochromatin) かオイクロマチンかに就ては、分化反應を示す部分が動物に於て見られる性染色體の異常凝縮に著しく類似してゐる事からヘテロクロマチンであらうと推定した。反應部分の色素に薄く染る性質は特種の色素に對するものではなく、フオイルゲンとか醋酸カルミン等の一般色素により同一の染色反應を示す。芳賀氏はオルセインに對しても同様である事を確めた。然し Geitler は醋酸アルコールで固定し、アルコールに長く貯藏したものでは、醋酸カミレン及びフオイルゲンで染色しても、染りの薄い部分が現れないで染色體が一樣に染る事を示唆した。この特殊反應を示す部分は個體によつてその數、大いさ及位置が常に一定してゐて、且つ反應部分の長さは正常なものに比較して何等變化が見られないとの事である。以上述べた低温環境に於る染色體の特殊反應は研究の進むにつれ益々興味ある事實を提供するものと思はれる。

核と細胞間の分裂異常

細胞分裂は通常核分裂に従屬して起るが、種々の動因によつて核と細胞の分裂過程が無關係に行はれる事がある。ムラサキツユクサで高温處理により核分裂を伴はない細胞分裂が屢々見られてゐる。Sax (1937) の實驗によると、ムラサキツユクサを2週間低温室に置き、これを高温室

に移して更に温室に移した所、5日後に於て2つの細胞の一方だけに核を持つた2分子の細胞が誘起された(寫眞 No. 53 A. ムラサキツユクサの花粉母細胞に於て見られた異常温度による核と細胞間の分裂異常. 核分裂が抑壓されて細胞分裂のみ行はれたため、一方だけに核を有する2分子の細胞). これは明らかに細胞が分裂したが、核分裂が抑壓されて分裂が行はれなかつたものである. 又時々核が分裂して、その後遅れて細胞が分裂し、その爲2核は1つの細胞にあつて他は無核であるものも見られてゐる(寫眞 No. 53 B. ムラサキツユクサの花粉母細胞に於て見られた異常温度による核と細胞間の分裂異常. 核は正常に分裂せるも、細胞分裂が核分裂と不平衡に行はれたため、一方だけに2核を有する2分子の細胞). この他種々の核と細胞の不平衡分裂による異常現象も見られてゐる. この様な核と細胞の不均衡分裂は多くの場合不稔の配偶子形成の原因となる事が多い. Lutokov (1937) はダイコンとキャベツの雜種である *Raphanobrassica* ($2n=36$) を 0° — 1.5°C の低温で處理して2倍性及び4倍性の花粉粒を誘發せしめた. この倍數性花粉粒は減數分裂に於る種々の異常、特に減數第一若しくは第二分裂、又は第一及び第二分裂を通して復舊核が構成された事、不減數第二分裂の2核の愈合及び核分裂後に於る細胞分裂の省略による細胞膜の不形成等によつて誘導されたものである. 著者もアブラナ (*Brassica*) とベコニア (*Begonia*) を低温處理して、倍數性花粉粒を實驗的に誘發せしめる事に成功し、減數分裂で *Raphanobrassica* に於ると同様な異常現象を觀察した. これ等の倍數性花粉粒は温度により核と細胞質の正常な時間的な作用が變化し、その結果核と細胞の分裂の調和が阻害された爲めに起る種々の異常現象に基因するものと思はれる.

細胞分裂無しに核分裂は自然に於て一般に見られる現象であつて、人爲的にもコルヒチン及びアセナフテンの様な麻酔劑、酸素の缺除、機械的の衝動、優張液 (Hypertonic solution) 及び劣張液 (Hypotonic solution) による處理及び温度の變化等によつて誘起され、これ等のものは細胞質の物理的状態の變化を惹起するものである. 即ち細胞質の粘度を變化させる第一次的原因と考へられる. 遺傳的にも遺傳子が細胞膜の形成を阻害して細胞分裂が完結しない場合が知られてゐる (Beadle, 1932, 1936).

高等植物の完成した組織に於る2核性の細胞は Beer と Arber (1920) によつて初めて見出されたが、これ等の多くは核分裂後に於る細胞膜の不形成に由來する場合が多い. 温度の刺戟によつて無絲分裂 (Amitosis) が誘起される事も知られてゐるが、この場合屢々細胞分裂を伴はない事がある. ムラサキツユクサで無絲分裂が花粉粒の生殖核に於て高温によつて人爲的に誘發された (Sax, 1937). この無絲分裂の原因は恐らく細胞質の粘度が減ずる事と何等かの關係があるものと推定されてゐる.

細胞は核分裂無しには分裂しないと云ふ事は一般に許容されてゐる事であるが、然し最近の研

究は縊込 (Furrowing) による細胞分裂は核分裂と無関係に行はれる事が指摘された。譬へばウニの一種 (*Arbacia punctulata*) の無核の卵は完全な胚組織の分化が完成しないにも拘らず 500 細胞に迄も發達し得る事が判つた (Harvey, 1936)。下等植物の小芽胞の細胞は高温で處理すると、時々核分裂無しに細胞分裂を行ふ事があるが、無核の細胞が分裂を続ける場合は未だ知られてゐない様である。以上の事より考へるに正常な状態に於る核分裂と細胞分裂の間には密接な關係があるが、温度の刺戟等の影響によつてその調和が破れ、全く無関係に行はれる様に思はれる。

倍数性細胞と倍数體の誘發

倍数性の細胞を人為的に誘導せしめた實驗は古きものは 1900 年代以前に既に行はれ、Boveri, Hertwig, Morgan 及 Wilson 等の細胞學の大家が種々の化學藥品の作用及び物理的刺戟により、ある特種の動物の卵に於る細胞分裂を抑壓して染色體の分裂のみを誘起せしめる事により、倍数性の細胞が生ずる事を指示した。植物ではアヲミドロ (*Spirogyra*) を低温處理する事によつて 4 倍性の細胞と思はれるものが生じたと報告されてゐる。その後この方面の研究は活潑となり、人為倍数體の育成を誘引するに至つた。

植物では倍数體は種の起源及び分布に重要な役割を有するばかりでなく、育種、作物園藝學等の應用方面及び細胞遺傳學の純理學分野の研究に重要な貢獻を齎した。これに反して動物では古くから倍数性卵の人為的誘發に成功したが、倍数體の育成が失敗に終り、一部を除いてはこの方面の研究に見るべき結果が擧らず今日に至つてゐる。これは倍数體に於る性染色體の機構が限定される事と、種々の生理的條件等により、不妊となり子孫を残さぬ結果によるものと考へられる。

温度處理による倍数性細胞の生因として次の如き花粉母細胞に於る分裂異常が擧げられる。

(i) 染色體の非對合, (ii) 紡錘絲の機構阻害による染色體分離の抑壓, (iii) 復舊核の構成, (iv) 核と細胞間の分裂の不均衡により細胞分裂若しくは核分裂の一方が抑壓される事, (v) 2核の癒合, (vi) 四分子形成直後に於る娘細胞の癒合, (vii) 減數分裂前に於る 2 つ若しくはそれ以上の細胞の癒合, (viii) 胞原細胞の最後の分裂に於る細胞分裂の缺除等。自然の状態に於て低温の影響により倍数又は異常染色體を有する細胞若しくは花粉粒が誘起されたと考へられた場合が, Belling (1921, 1925), Borgenstam (1922), 中村 (1929, 1935), Sax (1931), Whitaker (1933), Medowedewa (1934) 等によつて報告された。然しこれ以前に坂村氏 (1916) はソラマメ (*Vicia Faber*) を抱水クロラルで處理し、核分裂の影響を觀察中、異常染色體數を有する花粉粒を見た。氏はこの異常花粉粒は恐らく低温の影響を受けて生じたものであらうと考へ、核分裂と温度の影響に就き 1 つの示唆を與へた。

實驗室に於る低温の減数分裂に及ぼす影響に就てなされた研究は高温の場合に比較すると少ないが、今日迄發表された研究報告は相當ある。その中、低温處理により倍數性細胞を人為的に誘起せしめた研究は Belling (1925) によつてなされたものが最初である様に思はれる。彼はユリ科の *Uvularia grandiflora* と *Uvularia perfoliata* を夜中温度の低下する温室に置き、花粉母細胞の分裂異常を観察した。種々の異常が見られたが、14 の倍數染色體を有する巨大花粉粒が1つの花蕾で12%出現し(第8圖)、この倍數性花粉粒は染色體の不還元即ち第二分裂が省略された事に基因するものであらうと考へた。この他染色體

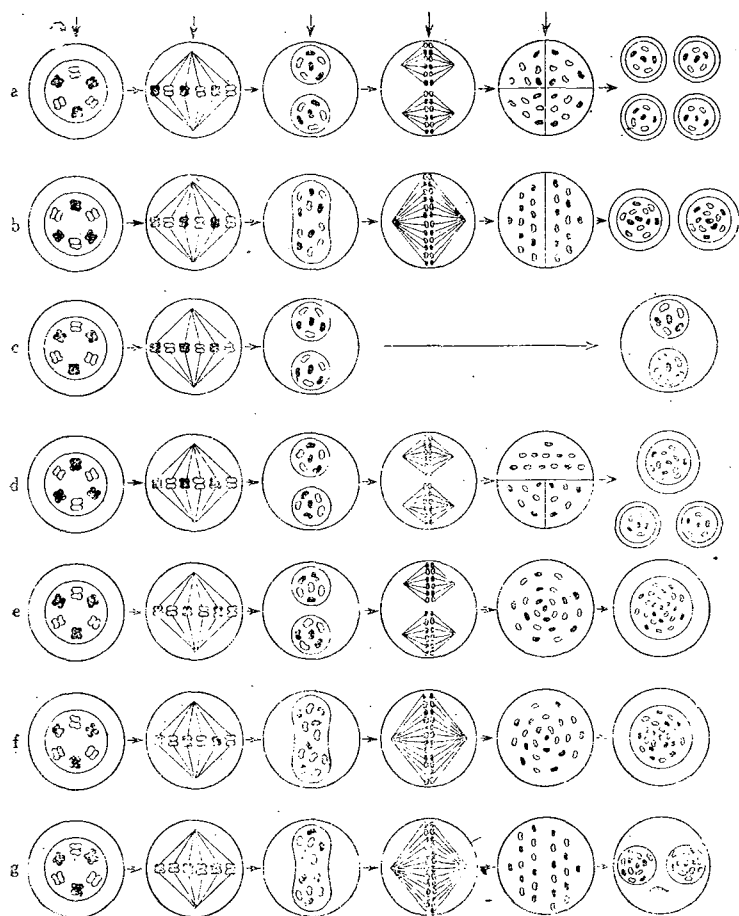


第8圖 低温の影響によつて誘起された *Uvularia grandiflora* の巨大花粉粒。14 の倍加染色體を有す。

の非對合、不分離、切斷及び染色體の不均等配分等の異常現象も觀察してゐる(染色體の異常の項参照)。又テウセンアサガホ (*Datura*) 及び *Stizolobium (Muncuna)* でも *Uvularia* 同様低温により倍數性花粉粒が誘發された事が Belling によつて確められた。その後 Michaelis (1926, 1928) はアカバナ科のヤナギラン (*Epilobium angustifolium*), *Epilobium hirsutum* とマツヨヒグサの1種 *Oenothera Hookeri* で、下斗米氏 (1927) はヤブラの變種 (*Liriope graminifolia*, var *communis*) とスルボ (*Scilla japonica*) で、Straub (1936) と明峰氏 (1937)

はムラサキオモト (*Rhoso discolor*) で、Lutokov (1937) はダイコンとキャベツの雜種である *Raphanobrassica* で、又著者は最近 (1944) アブラナ屬 (*Brassica*) 2種とシキザキベコニア (*Begonia semperflorens*) で倍數性細胞若しくは花粉粒が低温處理によつて生じた事を報告してゐる。これ等の倍數性細胞又は花粉粒は何れも低温の刺戟による減数分裂の異常即ち染色體の非對合、紡錘絲の攪亂、復舊核の形成、核と細胞間に於る分裂の不均衡及び2核の愈合等によつて生じたものであるが、倍數性細胞誘發の原因が胞原細胞の異常分裂に存在する場合も知られてゐる。明峰氏 (1937) はムラサキオモトを 23°C の温室から 2°C の所に4時間移し、それを又温室に歸し、2週間後に觀察し、正常な花粉母細胞に混つて4倍性の細胞が存在する事を見出した。この倍數性の花粉母細胞は低温の影響により胞原細胞の最後の分裂に於る細胞分裂の缺除によるものと推定した。

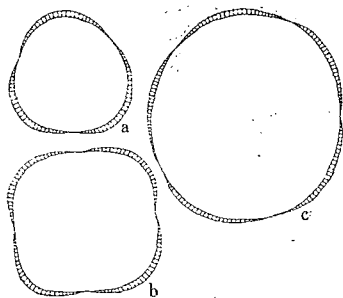
Lutokov (1937) は *Raphanobrassica* を 0° — 1.5°C の低温で處理し、2倍及び4倍性の花粉粒を誘起せしめた。この倍數性花粉粒は第一若しくは第二分裂に於る復舊核の構成及び兩分裂を通しての復舊核の形成並びに2核の愈合、細胞膜の不形成等種々の異常によつて生じたものであつて、これ等の總ての場合を示したものが第9圖の模式圖である。著者はアブラナ2種、Bra-



第9圖 低温の影響による *Raphanobrassica* (ダイコンとキャベツの雑種, $2n=36$) の倍數性配偶子の形成經過を示す模式圖。
 a. 正常な配偶子の形成經過を示す。
 b-d. 2倍性配偶子の形成經過を示す。
 e-g. 4倍性配偶子の形成經過を示す。

ssica napus, *Brassica campestris* 及びシキザキペコニアを $2^{\circ}-3^{\circ}\text{C}$ の低温で處理せるもので2倍及び4倍性花粉粒が 4.45%, 1.69%の割合で誘起され, *B. campestris* では96時間處理のもので 6.05%, 1.08%の割合で2倍及び4倍性花粉粒が誘起された。又シキザキペコニアでは4倍性花粉粒は見られなく, 43時間處理で2倍性花粉粒は 0.96%の割合で現れた。尙 *B. napus* で見られた正常花粉粒と2倍及び4倍性花粉粒の大いさは 19μ , 25μ , 35μ で, 2倍及び4倍性花粉粒は正常花粉粒の 1.3倍及び1.8倍に相當する(第10圖)。これ等の倍數性花粉粒は *Raphanobrassica* 同様, 減數分裂に於る種々の異常分裂に基因するものである事を確めた。

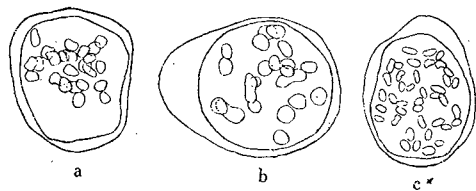
高温が部分的若しくは完全な染色體の非對合の原因となり, 倍數性細胞の誘起を齎らした場合



第10圖 *Brassica napus* の花粉粒。a. 正常花粉粒。b, c. 低温処理によつて生じた巨大花粉粒。b. 2倍性花粉粒。c. 4倍性花粉粒。

が、ギバナノアマナ (*Gagea lutea*) (坂村及び須藤, 1926), ジャガイモ (*Solanum tuberosum*) (須藤, 1926), マツモトセンノウ (*Lychnis Sieboldi*) (高木, 1928), ツクバネアサガホ (*Petunia hybrida*) (松田, 1928, 1936), リンゴ (*Malus*) (Heilborn, 1930), ムラサキオモト (*Rhoeo discolor*) (Sax, 1936), ホウセンクワ (*Impatiens Balsamina*) (中村, 1936) 及びオホバナノエンレイサウ (*Trillium kamtschaticum*) (松浦, 1937, 1940) 等によつて知られてゐる。マツモトセンノウでは正常な状態では減数分裂は非常に規則正しく行はれ、第一中期で 12 箇の二

価染色体が数へられるが、 38° — 39°C 若しくはそれ以上の温度で処理すると、染色体の對合が起らず中期で 24 箇の染色体が数へられ (第11圖 a), 又二価染色体と一価染色体が第一中期で混在してゐる場合も屢々見られてゐる (第11圖 b)。又時には非對合染色体の大部分が減数分裂の前期に於て縦裂を起した結果第一中期で約 40 箇の染色體が誘起された場合も觀察され (第11圖 c), この他染色体の不均等配分による異常も報告されてゐる。以上の如き染色体の非對合又は



第11圖 高温の影響によつて生じたマツモトセンノウ (*Lychnis Sieboldi*) の花粉母細胞に於る非對合染色体。
a. 24 の單價染色体を有する第一中期の核板。
b. 二價染色体と單價染色体の混在する核板。
c. 約 40 の染色分體からなる核板。非對合染色体の大部分が前期に於て既に縦裂を起したために生ずる。

不均等配分は倍加染色体を有する一分子や異数染色体の二分子の形成を誘起せしめた。

オホバナノエンレイサウに於てもマツモトセンノウに於るが如く、減数分裂の第一中期に 5 箇の二価染色体の代りに 10 箇, 20 箇及び 40 箇の一価染色体が現れる場合が觀察されてゐるが、20 及び 40 箇の場合は前者は染色分體、後者は半一分染色体を意味するもので、40 箇の半一分染色体の出現は減数分裂前期の染色體が 4 本の染色絲から成る事を示すと同時に、これ等

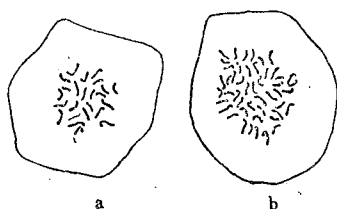
の 4 本の染色絲の對合が温度により阻害される事を意味するものである。松浦氏はこの非對合の原因は高温の刺激により減数分裂の前期の時間が甚だしく短縮され、その結果分裂過程が全く體細胞分裂型へ轉換するものであるとし、減数分裂と體細胞分裂の關係に重要な示唆を與へた。

温度による異常は處理温度、處理時間及び生物の種類等により異なるが、多くの場合種々の異常現象を同時に誘起するものである。以上述べた植物の高温による染色体非對合も、非對合だけが單獨に起るものではなく、種々の異常現象を伴つてゐるもので、倍數性細胞の誘發の原因に就て

も同様な事がいへる。松田氏 (1923, 1933) はツクバネアサガホを 37°C 以上特に $40^{\circ}\text{--}42^{\circ}\text{C}$ で處理する事によつて巨大花粉粒を誘起せしめたが、 37°C の處理で染色體の非對合の他花粉母細胞の愈合、紡錘絲の形成阻害、第一及び第二中期に於る染色體の擴散及び娘細胞の異常分離等も見てゐる。この様な例はホウセンクワを初めその他種々の植物で知られてゐる。上述せる植物以外で温度の變化により減數分裂が抑壓され倍數性の花粉粒が生じた場合が、ユリ科の *Tulipa suaveolens* とヒヤシンス (*Hyacinthus orientalis*) (De Mol, 1923, 1929, 1936), コムギ (*Triticum vulgare*) (Bleier, 1930), ムラサキオモト (*Rhoso discolor*) (Sax, 1933) 及びムラサキツユクサ (*Tradescantia*) (Sax, 1937) でも知られてゐる。

以上は温度の影響による花粉母細胞に於る染色體の倍加現象であるが、體細胞に於ても高温により染色體の倍加が起つた事が少數ではあるが報告されてゐる。Koshochow (1928) はタウモロコシ (*Zea Mays*) とキウリ (*Cucumis sativus*), Randolph (1932) はタウモロコシ, 松島氏 (1935) はイネ (*Oryza sativa*), Dorsey (1936) は各種のコムギ (*Triticum vulgare*) とライムギ (*Secale cereale*), Müntzing (1936) と Karpechenko (1933) はオホムギ (*Hordeum sativum*), 相島氏 (1939) はライムギ, 重永氏 (1939) はムラサキツユクサ (*Tradescantia*) で夫々染色體の倍加が温度の影響によつて誘起された事を明かにした。

松島氏はイネの種子根の先端が僅かに伸びたものを定温器に入れ、 $33^{\circ}\text{--}81^{\circ}\text{C}$ (定温器取付の寒暖計示度) の種々の高温で處理し、根端細胞で 48 の 2 倍の染色體數を有するものを多數發見した (第 12 圖 b)。實際に倍加細胞が現れたのは 42°C (供試材料を入れたシャーレ内部の温度で、この時の定温器の温度は 44°C) 以上の温度で處理したもので、それ以下の温度では倍加染色體



第 12 圖 a. イネ (*Oryza sativa*) の根端細胞に於る正常核板 ($2n=24$).
b. 高温處理によつて生じた倍加染色體を有する核板 ($2n=48$).

數を有する細胞は見られなかつたといふ。尙處理時間は 20 分—24 時間で、 47°C 以上に 24 時間放置しておくとも全部死滅するが、處理時間を短縮すれば死滅を來さず倍加細胞を誘起する。この様にして 54°C (シャーレ内部の温度、この時の定温器の温度は 81°C) 迄の各種の高温で根端細胞に染色體の倍加が起る事を確めた。倍加細胞は大部分原皮層部及び原表皮部に現れ、正常の細胞に比較して一般に大きい。この染色體の倍加の原因に對して、松島氏は一時核若しくは細胞分裂が高温の刺戟によつて中止されたものが再び分裂を開始する事によるものであらうと推測した。上記のイネの染色體倍加に對して、タウモロコシ、コムギ、ライムギ及びオホムギの場合は授精後に於る接合體即ち *Proembryo* の最初の分裂に於て染色體の倍加が起つたもので、完全に結實すれば倍數性の個體誘起の可能性が充分存在する譯で、こ

の點花粉母細胞や根端細胞に於る温度處理による染色体の倍加現象と異つた意味で興味あり、且つ育種學及び細胞遺傳學上重要な意義を有するものである。

Randolph (1932) はタウモロコシの接合體の第一分裂の時期に相當するものを 33° — 45°C の高温で處理し 4 倍體を得た。その後 Dorsey (1936), Müntzing (1936) 及び Karpechenko (1938) はこの實驗に興味を持ち、タウモロコシ、コムギ、ライムギ、オホムギで同様な實驗を行つた。Dorsey はコムギとライムギの授粉後 20 時間経過したものを (コムギとライムギでは授粉してから授精迄の時間は 25°C の一定温度で約 20 時間を要す) 43°C の高温で 20—30 分間處理した。この様な處理を行つて得た種子から、かなり多くの倍數體を得た。コムギでは倍數體の出現率は比較的少なくなかつたが、ライムギでは 426 個體中 15 箇が倍數體であつた。その比は約 1 : 30 になる。これに對して Müntzing はタウモロコシとオホムギを用ひて實驗を行つたが、その結果は大體に於て不成功に終り、僅かにオホムギで 1 箇の 4 倍體を得たに過ぎなかつた。タウモロコシでは授粉後 27—30 時間経過してから 40° — 45°C で處理し、又オホムギは授粉してから 20 時間後に 40° — 47°C で處理した。然し胚組織を調べて後から判つたのであるが、オホムギでは授粉と熱處理の間の適當な時間は 18 時間であると Müntzing はいつてゐる。熱處理したものの穂の着粒は非常に少く、1 穂に對する種子の數は温度が 42°C から 47°C に増すに従つて 3.19—0.17 に減少する。これ等の種子から生じたオホムギの大部分は正常な染色体を有し、稀れに $2n=14$ の正常な染色体の他に 28 の倍加染色体を有するキメラも現れた。このキメラは前の熱處理の影響によつて生じたものであるとし、その證據として次の 2 つの事を擧げてゐる。(i) 熱處理をしない植物の根ではこの様なキメラの部分が全然見られなかつた。(ii) キメラを有する植物は特種と同じ穂の種子から生じたものに限られてゐる。この特種な穂は熱處理が遅れた爲め、處理された時は既に受精後の胚が多細胞になつてゐたものから生じたのである。Müntzing はキメラのもの以外に 1 箇の 4 倍體のオホムギを得てゐるが、これは 45°C で 30 分間處理したものの中から生じたものである。Karpechenko (1938) も Randolph, Dorsey 及び Müntzing 等が行つたと同様に授精した接合子の第一分裂に高温の刺戟を與へ 4 倍體を得た。供試材料であるオホムギの變種を温室で鉢植として育て、開花し始める頃に穂を除雄し、受精後 24 時間してから 43° — 50°C の高温で 30 分, 45 分, 1 時間處理し再び温室に移した。この實驗で 180 穂の中、33 は死滅し、残りのものから 637 箇の種子が得られた。この種子から 378 の植物が育成され、その中の 329 の植物の根端細胞を調べた所、22 箇體は組織の全部若しくは 1 部が染色体の倍加を起し 4 倍性となつてゐた。尙これ等の 4 倍性植物の減數分裂に於て四價染色体が見られた。

以上は授粉によつて生じた胚の第一分裂に高温の刺戟を與へて倍數性の種子を作つて倍數體を

育成した例であるが、種子を熱処理して倍數性細胞又はキメラ植物を誘起した場合も知られてゐる。相島氏 (1939) はライムギの種子を 12 時間浸水し、24 時間室内で乾燥した後、高温處理の實驗を行つた。實驗に當り、次の 2 通りの處理を行つた。(i) 種子を 42°C に保ち 5 時間後から 14 日毎日 3 粒宛取り出して播種。(ii) 種子を隔日に 42°C と温室に保ち 4 日後から 28 日後迄隔日に 3 粒づつ播種。實驗 (ii) の 12 日目に播種したものから染色體キメラ植物が得られ、これと正常植物との交雜を行ひ、F₁ にキメラが現れた。染色體キメラは根端、花粉母細胞、花粉粒、藥壁等に見られ、何れも 2 倍と 4 倍性の細胞が混在してゐた。その他 Kirnosowa (1936) はオニタビラコ屬の *Crepis tectorum* の種子を 25°—50°C で高温處理し、異常染色體が現れる事を報告した。

重永氏 (1939) はムラサキツユクサの若い花瓣及び若い葉の表皮細胞を用ひ、熱による核分裂の異常の生態觀察を行つた。熱處理により 2 核の細胞や染色體の倍加した細胞が誘起されたが、染色體の屈光性の増加、紡錘體の容積の減少、液胞の膨大等の變化が起り、優滲壓砂糖液、抱水クロラル液等を用ひた實驗の場合と同様であつた。これ等の事から重永氏は熱によつても細胞内に脱水作用が起ると考へ、特に紡錘體に起る脱水が 2 核の細胞及び染色體の倍加した核を誘起する重要な原因の 1 つであると推測した。尙染色體から核へ變態させるには熱處理を中止して染色體が加水される事が必要であるといふ。

倍數性は植物では一般的に見られる現象であるが、動物に於ては稀れにしか見られない。これは性染色體の機構が重要な意味を有するもので、染色體の倍加によつて性染色體の調和が破れ、その結果不妊となり倍數體の誘起が妨げられるのであらうと Muller (1925) はいつてゐる。單位生殖をなす下等な動物群に往々倍數體の見られるのはこの様な理由によるのかも知れない。然し範圍は限られてゐるが、一般の動物に於てもこの倍數關係が見出され、最近漸くこの方面の實驗的研究が盛んになつて來た。然し未だその成果は擧つてゐない様である。廣部氏 (1939) はカヒコ (*Eombyx mori*) の卵に、稻葉氏 (1939) はコマユバチの 1 種である *Habrobracon pectinophorae* にコルヒチンを處理して倍數體を得た。又 Pincus と Waddington (1939) はウサギ (*Oryctolagus cuniculus* var. *domesticus*) の卵子にコルヒチンを處理して 4 倍性の卵を得た。その他川口氏 (1936, 1938) のはカヒコの受精卵に遠心力の刺戟を與へて、2 倍及び 4 倍性のカヒコの誘導に成功した。これに對して溫度處理による倍數體育成の實驗的研究は比較的多い様である。

Fankhauser と Griffiths (1939) 及び Griffiths (1941) はキモリ (*Triturus viridescens*) の受精卵に低温處理を行つて 3 倍體を得た。この實驗はキモリを人爲的に産卵せしめ、この卵を直ちに 0°—3°C の低温で 5—24 時間處理し、その後これを温室に移して發生せしめた。この様に

して多数の倍數體が得られたが、卵分割中に死滅するものが多かつたとの事である。Griffithsの實驗によれば、 0.5° — 3° Cの低温處理で245箇の卵から100匹の幼成が得られ、その中80%が3倍體であつた。この3倍體の多くのは變態期迄生育したが、産卵後30分以上経過した卵を同様に低温處理したが、1個體も倍數體が得られなかつた。この3倍體の生因は卵子の第二成熟分裂が阻止されて、2倍性の雌核が生じ、これが精核と結合して3倍體が誘起したのであらうとGriffithsは推定した。又川村氏(1941)はトノサマガエル(*Rana nigro-aculata*)の卵を人工的に受精せしめ、受精してから一定時間後一定の温度の冷水で定時間處理した。多くの實驗區に分けて實驗を行つたが、大部分は蝌蚪を生じ、その中に多数の3倍性の蝌蚪を見出した。これ等の3倍體の少数は變態前後で死滅したが、大部分は變態を終つて順調に成育し、數匹の雄は成熟期迄達した。こゝで興味ある事は3倍體を生ずる割合は母蛙の差違によつて異なる事で、ある實驗區では全部が2倍體で、又他の實驗區では殆んど全部が3倍體で、その間2倍體と3倍體の割合に種々の程度の變異が見られてゐる。尙低温處理によつて生じた3倍體の蛙の大部分は雄であつて、これは卵の過熱に基因するものであらうと考へてゐる。即ちこの實驗區の母蛙は繁殖の最も盛んな時期より約50日遅れて採集され、且つ採集當時の氣温が高かつた事等により卵が過熱の状態にあつたもので、蛙の性は卵の過熱や高温飼育等の後天的要素によつて容易に轉換出来る事を示唆した。3倍體雄の精巢は2倍體よりも良く發達し(寫眞No. 54 A. 低温處理によつて生じたトノサマガエルの3倍性雄の成熟した精巢。B. 2倍性雄の成熟した精巢)、減數分裂は異常を示し、精蟲の形成は成熟個體に於ても非常に阻害され、精原細胞は2倍體より大きい。橋本氏(1933)はカヒコ(カマド)の産卵直後の卵を殆んど致死温度と思はれる高温で處理して少數の4倍性の雌を得た。最近牧野及び小島氏(1943)はコヒ(*Cyprinus carpio*)の受精直後の卵子を 0.5° — 3° Cの低温で10—30分間處理して2倍性の卵核を得た。このものつ成熟分裂は第二分裂の後期で分裂が停止し、分裂した娘染色體は1つの核膜に包まれ、その結果2倍の染色體を含む卵核が形成されるのである。この様にして形成された2倍の卵核が正常の精核と結合して3倍性の個體が生ずるので、兩棲類に於て多数の3倍性の個體が實驗的に誘發された事實に對して顯微鏡的證左を與へた。

動物では温度處理による倍數體の育成は比較的 success してゐる。これは受精卵を直接處理する事に基因するものである。これに反し植物では倍數性細胞を誘起した實驗は數多くあるが、倍數體の育成實驗はあまりない。これは今日迄なされた實驗の多くは減數分裂の分裂異常の觀察が主で、温度處理による倍數體の育成實驗が計畫的に行なはれなかつた事によるものと思はれる。減數分裂の不規則な分裂により種々の異常花粉粒が誘起されるが、その中、完全なゲノムを有する倍數性配偶子は生活力を有してゐる事は一般に許容される事であるから、これ等の配偶子の結合

により、極く稀ではあるが、倍数體誘起の可能性は充分存在する譯である。この事は又自然の状態に於て特に氣温不順の地方に倍数體出現の可能性を意味するもので、温度による倍数體育成の實驗的研究は倍数性と生態的關係に對しても重要な示唆を與へるものである。

温度處理によつて生じた倍数性配偶子（多くは花粉粒）が生活力を有する事は多くの實驗で知られてゐる。坂村及び須藤氏（1927）はネバナノアマナを 30°C で15時間處理して花粉母細胞の不規則分裂を觀察し、その結果生じた異常染色體を有する花粉粒は生活力を有する事を報告した。又マツモトセンノウで高木氏（1923）は異常花粉粒を寒天と砂糖よりなる培養體で培養し、24時間後に良く發芽するのを見た。尙この花粉粒が授精し結實するか否かを調べたが、降雨の天候が長く續いた爲め種子の結實を著しく阻害し、その結果良い種子が出来なかつたので確かな事をいへないと報告してゐる。氣候が順調であつたら、恐らく倍数體が誘起されたものと思はれる。松田氏（1936）はツクバネアサガホを $40^{\circ}-43^{\circ}\text{C}$ で處理すると多くの生活力を有する巨大花粉粒を生ずるが、 45°C になると花粉の不稔の割合が増加して來ると報告してゐる。中村氏（1936）はハウセンクロで温度の變化による異常減數分裂の結果、次の4つの型の花粉粒が形成されるのを見てゐる。(i) 2倍性の花粉粒、(ii) 完全なゲノムを有するが、この他に少數の過剩染色體を有する花粉粒、(iii) 一部の染色體に構造的變化を起したものを有する花粉粒、(iv) 全く不均衡な染色體數を有する花粉粒。(i)、と(ii)、時には(iii)の花粉粒は生活力を有するが、(iv)の花粉粒は不稔であらうと推定してゐる。著者は二、三のアブラナ屬植物を低温處理し、2倍及び4倍性の花粉粒を得たが、これ等の花粉を人工的に授精させ（多くは正常な花粉で、この中に少數の倍数性の花粉を含む）多くの種子を得た。これ等の種子を播種し、極く少數の倍数體と思はれるものを得た。未だ實驗途中に就き詳細は他日發表したいと思つてゐる。

植物でも動物の受精直後の卵を温度處理して倍数體を得たと同じ場合が、タウモロコシ、コムギ、ライムギ及びオホムギ等で知られてゐる。即ち Randolph (1932) はタウモロコシで、Dorsey (1936) はコムギとライムギで4倍體を得た（寫眞 No. 55 A. 高温處理によつて得られたライムギの4倍體。B. 正常な2倍體）。又 Karpechenko (1938) もオホムギで4倍體とキメラの植物を得てゐる。Randolph と Dorsey は授精後約20時間、Karpechenko は30分—1時間経過したものを高温處理し（この時間に精核と卵核が完全に融合し、且つ受精卵の最初の體細胞分裂の時期と高温處理の時期が一致する必要がある）、その結果生じた種子から倍数體を育成したのである。尙 Dorsey が得た倍数體は次の如き系統のコムギとライムギ及びその雜種である。(i) *Triticum durum*. variety Marouani. 1個體の4倍體を得る ($2n=56$)。種子を生ぜず。(ii) *T. durum*. kubanka. 1箇の4倍體 ($2n=56$)。種子を生ぜず。(iii) *T. vulgare* \times *T. compactum*. Forward \times Jenki. $2n=36$ の染色體を有するもの1個體。(iv) *T. polonicum*. Polish.

1 箇の 4 倍體 ($2n=56$)。種子を生ぜず。(v) *T. vulgare* × *Secale cereale*. Honor × Rosen. $2n=56$ の染色体を有するもの 1 個體。8 つの種子が得られた。(vi) *T. vulgare*. Honor. 1 箇の 4 倍體 ($2n=84$)。穂を生じない。(vii) *T. vulgare*. Forward. 6 箇の 4 倍體 ($2n=84$)。種子を生ぜず。(viii) *S. cereale*. Rosen. 3 箇の 4 倍體 ($2n=28$)。良好な種子を生ず。Karpechenko はオホムギを $43^{\circ}-50^{\circ}\text{C}$ の高温で 30 分, 45 分, 1 時間処理し, 637 箇の種子を得た。この中から 378 の植物が育成され, 329 個體の根端細胞の染色体を調べた所, 22 が完全な 4 倍體か若しくはキメラの植物であつた。これに反して Müntzing (1936) はタウモロコシとオホムギで同様な実験を行つたが, その結果は不成功に終り, 僅かにオホムギで 1 個體の 4 倍體を得たに過ぎなかつた。以上の方法は技術上種々の困難があるが, 温度処理による倍數體誘起の手段として最も確かな方法である様に思はれる。然し實際問題としてその利用價値はコルヒチン處理等に比して遙に低い事は明かである。

核及び細胞分裂の異常と處理温度との關係

分裂異常を誘起する温度は處理時間, 生物の種類, 植物では特に花期及び生態的條件等によつて異りがある事は當然である。従つて各生物に對する異常を惹起する臨界温度が存在する譯であるが, この臨界温度の決定は種々の條件が介在して來るから實際問題としては非常に困難な問題である。然し大體の温度は決定出来るが, この方面の問題に關し計畫的に行はれた實驗はあまりない。

高木氏 (1928) はマツモドセンノウを $35^{\circ}-42^{\circ}\text{C}$ の高温で處理し, $38^{\circ}-39^{\circ}\text{C}$ が花粉母細胞の異常を誘起する適温である事を確めた。 36°C では何等の異常現象も見られなく, 正常と異りなかつたといふ。尙 $40^{\circ}-42^{\circ}\text{C}$ では温度の影響が著しく, 染色体は不規則な塊りとなり異常現象の追求が不可能であつたとの事であるが, 恐らくこの様な高温はこの植物に對する致死温度と考へられる。又松田氏 (1936) はツクバネアサガホを低温と高温で處理し, 低温 ($3^{\circ}-12^{\circ}\text{C}$) の方は花粉母細胞の異常を誘起しないが, 高温 ($37^{\circ}-45^{\circ}\text{C}$) は異常現象の總てを誘起し, 37°C が異常分裂を起すに必要な絶耐温度即ち臨界温度であると考へた。尙 $40^{\circ}-43^{\circ}\text{C}$ が巨大花粉粒を生ずる適温で, 45°C になると花粉の不稔の割合が増加して來る事を見てゐる。中村氏 (1935) はホウセンクワを $24^{\circ}-33^{\circ}\text{C}$ の各種の温度に分けて花粉母細胞の異常分裂の發生率を調べた。これによると異常は 27°C 以上で現れ, 温度が高くなる程異常分裂の發生率も増加して來る。中村氏によつて調査された各種温度に於る花粉母細胞の異常分裂の發生率は次表の如くである。

實驗區	處理溫度 (C)	第一分裂觀測數			第二分裂觀測數		
		總數	異常	異常/總數	總數	異常	異常/總數
I	24—25	34	0	0 %	101	0	0 %
II	27—28	199	4	2.0	64	2	3.1
III	29—30	163	12	7.4	—	—	—
IV	31—32	48	7	14.5	155	61	39.4
V	32—33	98	15	15.3	149	143	96.0

處理時間は各實驗區共5時間である。

この他臨界溫度が知られてゐる植物は次の如きものがある。キバナノアマナ, 30°C (坂村及び須藤, 1927). ジャガイモ, 25.7—39°C (須藤, 1927). コムギ, 35°C (Bleier, 1928). ナス科の *Petunia violaceae*, 40—47°C (松田, 1930). イバラ科の *Malus sylvestris* の *Sävestaholm* の變種では 30°, Akero では 25—30°C, 又 Astrachan は 20°C (Heilborn, 1930). タウモロコシ, 38—45°C (Randolph, 1932). 以上のものは何れも處理溫度を種々變へて異常を誘起するに必要な絶耐溫度 (主として高温) を見出したのであるが, 處理時間に充分の考慮がはらはれたものは少い様である。確かに各生物に於る臨界溫度は存在するが, 短時間で異常を誘起しない高温又は低温でも長時間處理すると異常を誘起する場合も考へられるから, 簡単に臨界溫度を決定する事は困難な問題である。譬へば著者のアブラナ及びシキザキベコニアの實驗はこの良き例である。アブラナでは 2—3°C の低温處理を行つた場合, 處理後 60 時間のものでは異常は見られないが, それ以上の時間處理すると明らかに異常現象を認める事が出来る。松島氏 (1935) はイネの根端細胞を種々の高温で, 又處理時間を色々變へて詳細な實驗をし, 倍加染色體を有する細胞の出現を調べたが, 47°C 以上に 24 時間處理すると供試植物は全部死滅するが, 47°C でも作用時間が短かければ死滅を來たさずして倍加細胞を生ずる事を見た。47—54°C 迄の溫度氏はでも適當に短時間作用させれば死滅を誘起せずして倍加細胞を生ずる可能性を暗示した。尙松島溫度と作用時間の長さとの關係を明らかにすべく試みたが決定出来なかつたと云つてゐるが, これは非常に難しい問題であると思ふ。とにかくこの實驗は處理溫度と時間が密接な關係に在る事を明示した 1 例で, 實驗結果の總括表を次に擧げておく。

記載番號	定溫器の 溫度 (C)	シャーレ内 の溫度 (C)	處理時間	處理回数	固定個體數 (A)	倍加細胞數 (B)	A : B
1	38	36.2	24 h	2	20	0	0%
2	40	38.0	//	1	13	//	//
3	//	//	//	2	20	//	//
4	42	40.5	//	1	//	//	//
5	//	//	//	2	//	//	//
6	44	42.0	//	1	//	13	65.0

7	44	42.0	24 h	2	18	1	5.6
8	46	44.1	"	1	19	6	31.6
9	"	"	"	2	8	5	62.5
10	48	45.5	"	1	19	6	31.6
11	"	"	"	2	20	0	0
12	50	47.0	6	"	"	2	10.0
13	"	"	24				
14	53	49.0	3	1	18	2	11.1
15	"	"	"	2	20	0	0
16	"	50.0	24				
17	55	49.0	30 m	1	20	0	0
18	"	"	"	2	19	1	5.3
19	"	50.5	1 h	1	20	0	0
20	"	"	"	2	"	"	"
21	"	"	2 h	1	"	"	"
22	"	"	"	2	"	"	"
23	"	51.0	3 h	1	"	"	"
24	"	"	"	2	"	"	"
25	"	51.5	4 h	1	"	"	"
26	"	"	"	2	"	"	"
27	"	"	5 h	1	19	"	"
28	"	"	"	2	15	"	"
29	"	"	6 h	1	16	"	"
30	"	"	"	2	11	"	"
31	"	52.0	7 h				
32	60	50.0	20 m	2	19	3	15.8
33	"	52.0	30 m	1	20	0	0
34	"	"	"	2	19	1	5.3
35	"	53.5	1 h	1	11	0	0
36	"	"	"	2	15	"	"
37	"	"	1 h 20m	1	10	"	"
38	"	"	1 h 30m	1	4	"	"
39	"	"	1 h 40m	1	3	"	"
40	"	"	2 h				
41	81	43.0	"	1	20	1	5.0
42	"	50.0	3 h	1	11	1	9.1
43	"	"	"	2	7	2	28.6
44	"	54.0	4 h	1	16	3	18.8
45	"	"	"	2	14	4	28.6
46	"	59.0	5 h				

異常分裂を誘起する温度は植物では又花期及び生育地の氣候に關係があると考へられるが、この方面の正確な實驗はあまりない。坂村及び須藤氏(1926)は秋に花咲く植物の減數分裂は高温で又夏季に花咲く植物の減數分裂は低温で容易に異常を誘起すると考へた。この様な考へは下斗米

氏 (1927), Heilborn (1930) 等によつても指示され、前者は夏に成熟するヤブランで減数分裂が低温で亂される事を確め、後者はリンゴで早く花咲く變種は遅く花が咲くものよりも高温の影響を受け易い事を 3 變種で明らかにした。即ち異常を誘起するに必要な絶耐温度は Savestaholm は 30°C , Akero は $25^{\circ}\text{--}30^{\circ}\text{C}$, Astrachan では 20°C であつた。これに反しツクバナエサガホは亞熱帯性の植物で且つ初夏花が咲くにも拘らず低温 ($0^{\circ}\text{--}12^{\circ}\text{C}$) では異常が起らず、高温によつてのみ異常が齎られる事を松田氏 (1935) は明らかにし、坂村及び須藤氏の考へと全面的に一致しない点を見出した。この様な例はマツモトセンノウでも見られてゐるが、松田氏はこの現象を説明する爲には一日中に於る減数分裂の時期を考慮しなければならないと考へた。即ちツクバナエサガホでは減数分裂は温度の上昇しない早朝行はれる事が明かにされ、この事がツクバナエサガホの減数分裂が高温のみによつて誘起される理由であると推定した。

高温又は低温で核及び細胞分裂に及ぼす影響を研究した實驗の多くは、生物體が自然の状態を受ける温度を遙に越えた極端な温度を用ひた實驗室に於る研究で、自然の温度が如何に細胞分裂に影響を及ぼすか示されてゐない。この點に意を用ひた代表的なものとして中村氏 (1936) の研究を擧げる事が出来る。中村氏はハウセンクワを用ひて臺灣に於る日々温度が如何に減数分裂に影響を及ぼすか詳細な研究を行つた。又同時に實驗室に於て種々異なる温度の影響も併せ行つた。自然の状態では気温が 32°C 以上になると減数分裂の異常を來たすが、それ以下では正常である事を確めた。種々の異常が見られたが、花粉母細胞の減数分裂の前期は高温には殆んど影響されなく、それより以後の時期が非常に影響を受け易いといふ結果を得た。こゝで興味ある事は Heilborn のリンゴの場合と同様に系統によつて温度の感受性が異なる事を自然の状態に於て見た。即ち系統 1 は 35°C で非常に強い影響を受け、系統 3 はその程度が 1 以上であつた。然るに系統 2 では 35°C で少しも異常を起さなかつた。 32°C 以上の温度は臺北ではハウセンクワの花の季節には珍らしくなく、 37°C 位に迄達する事がある。野外に於て屢々見られるこの植物の花粉母細胞の異常核分裂は主として高い気温の影響によるものであり、この事は亞熱帯又は熱帯地方に於る自然の高温が植物に於る染色体と突然變異又は倍數體若しくは異數體誘起の重要な要因となつてゐるものであらうと示唆した。

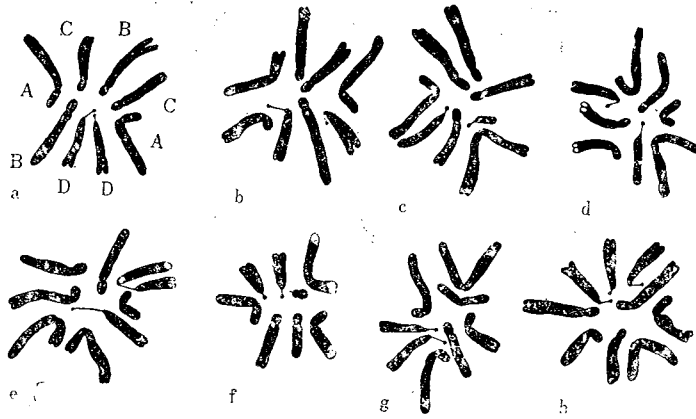
低温より高温へ急激に温度を變へて供試材料を處理した方が、高温若しくは低温で一定時間處理するよりも影響が大であるといふ實驗が松田氏 (1936) 及び Sax (1936, 1937) によつてなされた。Sax はムラサキツユクサを 3°C に數日間曝し、それを 38°C の高温で處理する事によつて染色体の部分交換、逆位、愈合、切斷、分離の抑壓及び細胞分裂若しくは核分裂の缺除等、多くの異常現象を花粉母細胞の減数分裂と花粉粒の分裂で見た。松田氏はツクバナエサガホを用ひて次の實驗を行つた。對照標準として $10^{\circ}\text{--}13^{\circ}\text{C}$ で 24 時間處理したものと、 40°C で 24 時間

處理した低温と高温處理の2つを選んだ。低温から高温又高温から低温への急激な温度變化の實驗として次の3つの處理を行つた。(i) 10°—13°Cで2.5時間處理し、これを40°Cで19時間處理。(ii) 10—13°Cで3.5時間處理、次にこれを40°Cで21時間處理。(iii) 35°Cで20時間處理し、更にこれを1°—5°Cの低温で處理、10°—13°Cで24時間處理した對照標準では全然異常は見られなく、(i)と(ii)の處理で誘起された花粉母細胞の異常は40°Cで21時間處理したものより一般に影響が大であつた。尙(iii)では異常現象は少しも見られなかつた。

種子の加齡による染色体異常

最後に種子の加齡(Aging)による突然變異、特に染色体の異常に就て一言したい。この現象に就て本文で述べるのは適當でないかも知れないが、この變異の原因は温度と湿度の影響により胚の物質代謝の状態が變化する事によるものであると一般に解釋され、且つ温度又は湿度の變化により短日で加齡による變異と同じ結果が實驗的に得られてゐる事より、種子の加齡による變異は少くとも今日迄の知識では温度にその關係を求むる事が出来るので本文でその概略を述べる事とした。

種子の加齡即ち種子を永く貯藏して置いて、これを播種すると突然變異が現れて來る事は Nawaschin (1933) によつて初めて發見されて以來、この研究は細胞學者及び遺傳學者の興味を引いた。その後 Nawaschin と Schkwarnikow (1933), Peto (1933, 1935), Schkwarnikow と Nawaschin (1934), Cartledge と Blakeslee (1934), Gerassimowa (1935), Nawaschin と Gerassimowa (1936), Kirnosowa (1936), Schkwarnikow (1937) 及び Barber (1933) 等、主として Nawaschin 一派の人によつて相次いで研究結果が發表された。Nawaschin はオキナビラコ屬の *Crepis tectorum* の6—7年貯藏した種子を播種し、27個體中5個體は正常で残り22個體は變異體である事を觀察した。尙變異體の出現頻度は81%であり、非常に高度のものであつた。これ等の個體の根端細胞の染色体を觀察せしに、その中50は染色体の異常を示し、大部分は轉座で、逆位を起してあると思はれる場合も2例見られ(第15圖b—h)、染色体異常の割合は29%であつた。その後 Nawaschin と Schkwarnikow は *Crepis* で同様な研究を行つたが、Nawaschin と Gerassimowa (1936) は *C. tectorum* の他 *C. capillaris*, *C. dioscoridis* 及びライムギ (*Secale cereale*) で貯藏年數が種々異なる種子を用ひて詳細な實驗を行つた。種子の發芽は貯藏年數が長い程一設て悪いが、變異體及び染色体異常の出現率は胚の生存し得る範囲内に於て長い程高かつた。染色体異常の多くは轉座で、又異常染色体を有する變化した組織と正常な組織からなるキメラも見られた。この他 Peto (1933, 1935) はタウモロコシ (*Zea Mays*) で、Cartledge と Blakeslee (1934) はテウセンアサガホ (*Datura alba*) で、Schkwarnikow



第 15 圖 種子の加齢によつて生じた *Crepis tectorum* の根端細胞に於る染色體異常。
 a. 正常な核板。
 b—h. A, B, C, D の何れかの染色體に異常（多くは轉座）を誘起した核板。

(1937) はコムギ (*Triticum vulgare*) の二、三の品種と *Triticum durum* で種子の加齢により變異が現れて来る事を確めた。Cartledge 及び Blakeslee の實驗によれば、15%の突然變異の半分は染色體の變異であつた。Schkwarnikow は6—7年貯藏した古い種子を用ひ、穂の色と形狀に關する種々の變異を見た。變異體の出現率は大體 0.9%内外で品種によつて多少異なる結果を得た。こゝで興味ある事は變異體出現の割合は必ずしも貯藏期間に比例するものでなく、貯藏中の溫度と大體平行するといふ事である。以上述べた種子の加齢による變異は因子突然變異もあるが、特に染色體の異常が非常に多く、正常な組織と異常組織よりなるキメラも多く生じ、又變異を起した新性質を子孫に傳へる場合も知られてゐる。

Kirnosowa (1936) は *Crepis tectorum* の種子を高溫處理して、種子の加齢による異常と同一の結果を得た。種子はその年とつた新しいものを使用し、10日間溫度處理を行つた。各處理溫度に對する變異體の出現頻度は 25°C で 5.2%、40°C で 10.2%、45°C で 12.8%、50°C で 7.5% で溫度に比例する結果を得た。尙 50°C で減少してゐるのは 50°C 以上で處理すると種子が死滅するからである。Schwarkinowa (1936) は溫度を一定にして濕度を變へて同様な影響を見てゐる。又 Nawaschin (1933) も溫度若しくは濕度又は兩者を高くする事により古種子でなければ起らない様な影響を短時間の處理で得てゐる。この様な實驗から種子の加齢による變異體出現の原因は胚が溫度と濕度の影響を受けて生理的又物理化學的變化を受けた事によるものであらうと考へられてゐる。それ以上の詳細に就ては未だ何も判つてゐない。變化を受けた胚が正常の胚よりも生存率が高い爲めとか、胚の休眠中に蓄積された自然放射の爲めであるといふ説明は實驗上

からも又理論上からも一般に否定されてゐる様である。

以上各項(核分裂の抑制, 染色體の異常, 核と細胞間の分裂異常, 倍数性細胞と倍数體の誘發, 分裂異常と處理温度との關係, 種子の加齡による染色體異常)に分けて, 温度が核及び細胞分裂に及ぼす種々の異常に就て述べたが, これ等の異常現象の誘起される程度は生物の種類, 生態的の差違, 處理温度及び處理時間等の違ひによつて異なるが, 單獨に起る事は稀れで, 総合的に誘起される場合が多い。温度は高低何れも影響を齎すが, 一般に高温の影響の方が顯著である様に考へられてゐるが, これは恐らく高温の實驗に比して低温の方が多く行はれてゐない事によるものであらう。高温も低温も生理的には細胞の脱水作用と見られ, この脱水作用が細胞内の諸物質に種々の變化を起させ, 核の活動と細胞の活動との調和を攪亂し, 異常を惹起するものと考へられるが, 細胞内の生理的又物理化學的變化の詳細に就ては今後の研究に俟つべきものが多い。温度によつて誘起される異常現象は結果的に見て, X線照射, 紫外線, 機械的傷害, 滲透壓, 麻醉劑, 遺傳因子及び種子の加齡等によつて惹起される異常と類似してゐる。高温及び低温處理を行つて人為的に誘起せしめた核と細胞分裂の異常は, どの程度迄自然の状態に於て行はれてゐるか興味ある問題で, 且つこの事は細胞遺傳學の分野に於ては勿論又生態學上及び種の進化の見地からも重要な問題である。この方面の研究として中村氏のハウセンクワの詳細な研究が挙げられ, 氏は生活環境中に見られる範圍内の温度で核分裂が亂され, 種々の異常現象が誘起される事を明かした。然しこの方面の研究は未着手の儘残されてゐるといつてもよい状態で, 今後廣範圍に渉る詳細な研究が望ましい。

文 獻

- 稲島敏之, 1939. らいむぎノ種子ヲ高温處理シタ際ニ得タ染色體キメラ植物トソノ遺傳實驗. 植. 雜. 53.
- AKEMINE, T. 1940. Tetraploid PMCs of *Rhoeo* induced by low temperature. (In Japanese with English résumé). Jap. Jour. Genet. 16.
- ANDERSON, E. & K. SAX. 1936. A cytological monograph of the American species of *Tradescantia*. Bot. Gaz. 97.
- BELLING, J. 1925. Production of triploid and tetraploid plants. Jour. Hered. 16.
- BELLING, J. 1925. The origin of chromosomal mutation in *Uvularia*. Jour. Genet. 15.
- BLEIER, H. 1930. Experimentell-cytologische Untersuchungen. I. Einfluss abnormaler Temperatur auf die Reductionsteilung. Zeitscher. Zell. 2.
- BORGENSTAM, E. 1922. Zur Zytologie der Gattung *Syringa* nebst Erörterungen über den Einfluss äusserer Faktoren auf die Kernteilungsvorgänge. Ark. f. Bot. 17.
- CAMARA, A. 1935. Der Einfluss höher Temperaturen auf die meiotischen Chromosomen der *Aloe arborescens* L. Rev. Argonomica. 23.
- CARTLEDGE, J. L. & A. F. BLAKESLEE. 1934. Mutation rate increased by aging seeds as shown by pollen abortion. Proc. Nat. Acad. Sci. 20.
- DARLINGTON, C. D. 1933. The origin and behaviour of chiasmata, VIII. *Secale cereale* (n, 8). Cytologia 4.
- DARLINGTON, C. D. & L. LA COUR. 1938. Differential reactivity of the chromosomes. Ann. Bot. N. S. 2.

- DARLINGTON, C. D. & L. LA COUR. 1940. Nucleic acid starvation of chromosomes in *Trillium*. Jour. Genet. 40.
- DARLINGTON, C. D. & L. LA COUR. 1941. The detection of inert genes. Jour. Hered. 32.
- DORSEV, E. 1936. Induced polyploidy in wheat and rye. Jour. Hered. 27.
- FRANKHAUSER, G. & R. B. GRIFFITHS. 1939. Induction of triploidy and haploidy in the newt, *Triturus viridescens*, by cold treatment of unsegmented eggs. Proc. Nat. Acad. sci. 25.
- FROLOVA, S. L. 1940. Cytology of development of parthenogenetic eggs of *Bombyx mori* L. activated by high temperature. Comp. Rend. Acad. Sci. URSS. 27.
- GETTLER, L. 1940. Temperaturbedingte Ausbildung von Spezialsegmenten an Chromosomenenden. Chromosoma. 1.
- GERASSIMOVA, H. 1935. The nature and causes of mutations. Biol. Zhyl. 4.
- GRAUBARD, M. A. 1934. "Temperature effect on interference and crossing-over". Genetics 19.
- GRIFFITHS, R. B. 1941. Triploidy (and haploidy) in the newt, *Triturus viridescens*, induced by refrigeration of fertilized eggs. Genetics 26.
- 芳賀 恣. 1943. 低温に對する染色體の特殊反應. 植物及動物 11.
- HAGEROUP, O. 1932. Über polyploid in Beziehung zu Kiima, Oekologie und phylogenic Chromosomenzahlen aus Timbuktu. Hereditas 41.
- 橋本春雄. 1932. 蠶のテトラプロイド雌の遺傳學的研究. 蠶業試驗場報告 8.
- HEILBORN, O. 1930. Temperatur und Chromosomen-konjugation. Svensk Bot. Tidskr. 24.
- INABA, F. 1939. Polyploidy in *Habrobracon* induced by colchicine treatment. (A prel. note). (In Japanese with English résumé). Jap. Jour. Genet. 15.
- KARPECHENKO, G. D. 1938. Tetraploid barleys obtained by high temperature treatment. Biol. Zhurn. Moscow 7.
- KATAYAMA, Y. 1931. Variation in the number of bivalent chromosomes in the F₁ hybrids between *Triticum durum* and *Aegilops ventricosa*. Bot. Mag. (Tokyo) 45.
- 川村智次郎. 1941. 3 倍数トノサマガヘルの性に就いて. 動. 雜. 53.
- KIRNOSSOWA, L. 1936. Der Einfluss höher temperatur auf das Mutieren der ruhenden Embryonen von *Grepis tectorum* L. bei konstanter Feuchtigkeit. Planta 25.
- KIRSSANOW, B. A. 1933. Die veränderung des Crossing-over bei *Drosophila melanogaster* unter dem Einfluss der gemeinsamen Wirkung von X-Strahlen und von verschiedenen Temperaturen. Zeitschr. f. Vererb. 64.
- KOSHCHOW, Z. A. 1928. Über experimentelle Chromosomenzahlverdoppelung in den somatischen Zellen mit abnormen Temperaturen. Angew. Bot. 10.
- LEBEDEFF, G. A. 1940. Failure of cytokinesis during microsporogenesis in *Zea mays* following heat treatment. Cytologia 10.
- LUTOKOV, A. N. 1937. On the artificial induction of polyploid gametes by treatment with low temperature and chloroform. (In Russian with English summary). Bull. Appl. Gen. Plant 7.
- MAEDA, T. 1930. On the configuration of gemini in the pollen mother cells of *Vicia faba* L. Mem. Coll. Sci. Kyoto Imp. Univ. 5.
- MAKINO, S. 1942. Meiotic chromosome pairing induced in the somatic cell of *Drosophila virilis*. (A prel. note). (In Japanese). Jap. Jour. Genet. 18.
- MAKINO, S. 1942. Artificial induction of meiotic chromosome pairing in the somatic cell of *Drosophila virilis*. (Cytological studies on *D. virilis*, pt. III). Cytologia 12.
- MAKINO, S. 1942. Polyploidy in animals. A review. (In Japanese). Bot and Zool. (Tokyo) 10.
- MAKINO, S. & Y. KOZIMA. 1943. Formation of the diploid egg nucleus due to suppression of second maturation division, induced by refrigeration of fertilized egg of the carp, *Cyprinus carpio*. Cytologia 13.
- MATSUDA, H. 1928. On the origin of big pollen grains with an abnormal number of chromosomes. La Cellule 38.
- MATSUDA, H. 1930. Further studies on the origin of pollen grain in *Petunia*. Proc. Crop. Sci. Soc. 2.
- MATSUDA, H. 1936. The effect of abnormal temperature upon the pollen formation of *Petunia*.

- Jour. Coll. Agric. Imp. Univ. Tokyo 14.
- MATSUSIMA, K. 1935. Chromosome doubling in rice plants treated with high temperature. Jap. Jour. Genet. 11.
- MATSUURA, H. 1937. Chromosome studies on *Trillium kamtschaticum* Pall. V. Abnormal meiotic divisions due to high temperature. Cytologia Fujii Jub. vol. 20.
- MATSUURA, H. & T. HAGA. 1940. Chromosome studies on *Trillium kamtschaticum* Pall. VIII. On the mitosis-meiosis relationship. Cytologia 10.
- MICHAELIS, P. 1926. Über den Einfluss der Kälte auf die Reductionsteilung von *Epilobium*. Planta 1.
- MICHAELIS, P. 1928. Über experimentelle Erzeugung heteroploider Pflanzen bei *Epilobium* und *Oenothera*. Biol. Zentralbl. 48.
- MICHAELIS, P. 1930. Über einiger experimentelle erzeugte Chromosomenmutanten bei *Oenothera Hookeri*. Zts. f. Abst. u. vererbungs. 34.
- MOL, W. E. DE. 1923. Duplication of generative nuclei by means of physiological stimuli and its significance. Genetica 5.
- MOL, W. E. DE. 1929. The originating of diploid and tetraploid pollen grains in Duc van Thoi-tulips (*Tulipa suaveolens*) dependent on the method of culture applied. Genetica 11.
- MOL, W. E. DE. 1933. Die Entstehungsweise anormaler Pollekeörner bei Hyazinthen, Tulpen und Narzissen. Cytologia 5.
- MOL, W. E. DE. 1936. Untersuchungen über den Einfluss der Temperatur auf das Entstehen von Modifikation und Mutationen bei niederländischen Hyazinthen-varietäten. Gartenbauwiss. 10.
- MÜNTZING, A., G. TOMETORP & K. MUNDT-PETERSEN. 1936. Tetraploid barley produced by heat treatment. Hereditas. 22.
- NAKAMURA, M. 1932. Daily changes in the occurrence of imperfect pollen grains in *Impatiens Balsamina* LINN. Jour. Soci. Trop. Agr. 4.
- NAKAMURA, M. 1935. The effect of seasonal high air temperature on the pollen mother cells of *Impatiens Balsamina* LINN. Proc. Jap. Assn. Adv. Sci. 10.
- NAKAMURA, M. 1935. On the irregular meiosis of the pollen mother cells of *Impatiens Balsamina* LINN. caused by the effect of artificial high temperature. Jap. Jour. Genet. 11.
- NAKAMURA, M. 1936. Experimental and cytological studies on the instability of the meiotic division of pollen mother cells of *Impatiens Balsamina* LINN. caused by the effect of high air temperature. Mem. Fac. Sci. & Agr. Taihoku Imp. Univ. 12.
- NAWASCHIN, M. 1933. Altern der samen als Ursache der Chromosomenmutationen. Planta 20.
- NAWASCHIN, M. & H. GERASSIMOWA. 1936. Natur und Ursachen der Mutationen I. Das Verhalten und die Zytologie der Pflanzen, die aus infolge des Alterns mutierten Keimen stammen. III. Über die Chromosomen, die inden Zellen von ruhenden Pflanzenkeimen bei deren Altern auftreten. Cytologia 7.
- OKUNO, S. 1944. On the artificial induction of polyploid pollen grains by treatment with low temperature. (In Japanese with English résumé). Jap. Jour. Genet. (in the press).
- OZIMA, Y. & S. MAKINO. 1943. Formation of the diploid egg nucleus in the refringerated carp egg. (In Japanese). Jap. Jour. Genet. 19.
- PETO, F. H. 1935. Associations of somatic chromosomes induced by heat and chloral hydrate treatments. Canadian Jour. Res. 13.
- PLOUGH, H. 1912. The effect of temperature on linkage in the second chromosome of *Drosophila*. Proc. Nat. Acad. Sci. U. S. A.
- PLOUGH, H. 1917. The effect of temperature on crossing-over in *Drosophila*. Jour. exp. Zool. 24.
- PLOUGH, H. 1921. Further studies on the effect of temperature on crossing-over. Jour. exp. Zool. 32.
- PLUNKETT, C. R. 1926. The interaction of genetic and environmental factors in development. Jour. exp. Zool. 46.

- POLITZER, O. 1940. Veränderungen der crossoverhäufigkeit durch Einwirkung von Temperatur und Alter. Zeitschr. j. Vererbl. 78.
- RANDOLPH, L. F. 1932. Some effects of high temperature on polyploidy and other variations in maize. Proc. Nat. Acad. Sci. 18.
- RICK, C. M. 1940. On the nature of X-ray induced delations in *Tradescantia* chromosomes. Genetics 25.
- SAKAMURA, T. 1916. Über die Beeinflussung der Zell- und Kernteilung die Chrolalsierung mit besonderer Rücksicht auf das Verhalten der Chromosomen. Bot. Mag. Tokyo 30.
- SAKAMURA, T. & I. STOW. 1926. Über die experimentell veranlasste Entstehung von Keimfähigen Pollenkörnern mit abweichenden Chromosomenzahlen. Jap. Jour. Bot. 3.
- SAX, K. 1930. Chromosome structure and the mechanism of crossing-over. Jour. Arnold Arb. 11.
- SAX, K. 1935. Variation in chiasma frequencies in *Secale*, *Vicia* and *Tradescantia*. Cytologia. 6.
- SAX, K. 1935. The effect of temperature on nuclear differentiation in microspore development. Jour. Arnold Arb. 16.
- SAX, K. 1936. The experimental production of polyploidy. Jour. Arnold Arb. 17.
- SAX, K. 1937. Effect of variations in temperature on nuclear and cell division in *Tradescantia*. Amer. Jour. Bot. 24.
- SAX, K. & E. V. ENZMANN. 1939. The effect of temperature on X-ray induced chromosome aberrations. Proc. Nat. Acad. Sci. 25.
- SCHKWARNIKOW, P. K. 1936. Einfluss hoher Temperatur auf die Mutationsrate bei Weizen. Planta 25.
- SCHKWARNIKOW, P. K. 1937. Über Erhöhung der Mutationsrate bei Weizen nach langer Aufbewahrung der Samen. Genetics 19.
- SCHKWARNIKOW, P. K. & M. S. NAWASCHIN. 1934. Über die Beschleunigung des Mutationsvorganges in ruhenden Samen unter dem Einfluss von Temperaturerhöhung. Planta 22.
- 重永道夫. 1939. 核分裂 = 及ボス熱, 其他ノ影響ノ生態觀察. 植. 雜. 53.
- SHIMOTOMAI, N. 1927. Über Störungen der meiotischen Teilungen durch niedrige Temperatur. Bot. Mag. Tokyo 41.
- STERN, C. 1926. "An effect of temperature and age on crossing-over in the first chromosome of *Drosophila melanogaster*". Proc. Nat. Acad. Sci. Washington 12.
- STOW, I. 1926. A cytological study on the pollen sterility in *Solanum tuberosum* L. Proc. Imp. Acad. 2.
- STOW, I. 1927. A cytological study on pollen sterility in *Solanum tuberosum* L. Jap. Jour. Bot. 3.
- STRAUB, J. 1936. Untersuchungen zur Physiologie der Meiosis. II. Zeitschr. Bot. 30.
- SWANSON, C. P. 1940. The distribution of inversion in *Tradescantia*. Genetics 25.
- TAKAGI, F. 1928. The influence of higher temperature on the reduction division of *P. M. C.* of *Lychnis Sieboldi*. Sci. Rept. Tohoku. Imp. Univ. 3.
- WASHIASHI, F. 1935. Cytological studies on the influence of low temperature upon the pollen formation *Disporum sessile*. Jap. Jour. Genet. 11.
- WHITE, M. J. D. 1934. The influence of temperature on chiasma frequency. Jour. Genet. 29.

低 温 科 学 第 二 輯 (第 一 刷) 正 誤 表

(頁)	(行)	(誤)	(正)	(頁)	(行)	(誤)	(正)
目次	20	福島	福富	90	13	写真 12	写真No.30
3	12	α	αd	94	28	" 7	" No.25
6	第6圖	5 cm	0.5 cm	99	16	示すと	みると
"	20	$\frac{3}{\text{kg/cm}}$	$\frac{3}{\text{kg/cm}^2}$	"	"	写真No.1の如く	トル
24	22	相對温度	相對湿度	"	22,23	写真1に見られる	トル
26	第1表の5	<105	>105	100	2	写真と同様に	トル
27	4	写真 2	写真No.2	101	27,28	写真No.2に示す様に	トル
"	10	" 1	" No.1	101,102	30,1	写真に示す如く	トル
"	14	" 3	" No.3	102	13	第1表及び写真No.2を	第1表を
"	19	F	下	108	26	写真 1	写真No.31
"	30	写真 4,5	写真No.4,5	"	29	" 4	" No.34
28	4	T_c	T_a	"	29	" 4	" No.34
"	5	T_c	T_a	109	3	" 4	" No.34
"	23	写真 6,7,8	写真No.6,7,8	"	"	" 5	" No.35
"	29	" 8	" No.8	"	"	" 2	" No.32
29	2	" 9,10,11	" No.9,10,11	112	3	" 3	" No.33
34	10	鐵線があるが	鐵線であるが	113	17	" 6	" No.36
59	第13圖	---細土含有量	---細土含有量	"	18	" 7	" No.37
"	"	-x-粘土含有量	-x-粘土含有量	"	29	" 8	" No.38
70	24	b c	b : c	115	27	" 9	" No.39
71	3	写真No.1	写真No.12	116	4	" 9	" No.39
"	3	" No.2	" No.22,13	120	13	$1.0 \times 10^{-7} V$	$1.0 \times 10^{-2} V$
"	16	" No.1	" No.21,12	121	7	30cm	130cm
74	6	第2圖(A)	" No.14	128	14	3m	4.8m
"	"	" (B)	" No.15	136	第1表の1	左右對線	左右對稱
"	"	" (C)	" No.16	142	1	打點式によつて	自記的に
"	8	写真 (A)	" No.14	159	6	Ag	Aq
"	10	写真 (B)	" No.15	164	25	$\Delta t'g > t_w$	$\Delta t'g > \Delta t_w$
"	18	" (C)	" No.16	166	27	0.001N	0.001/N
"	20	" (A)	" No.14	171	3	9桁	6桁
75	9	第4圖(D)及(E)	" No.17, No.18	"	16	$\frac{T_l}{T_a} Vt$	$\frac{T_l}{T_t} Vt$
"	11	写真 (D)	" No.17	"	"	"	"
"	12	" (E)	" No.18	172	2	$R-I = \frac{e}{e_{sat}} 100$	$RH = \frac{e}{e_{sat}} 100$
77	脚註3	Seron	Screen	"	22	a), b)	写真No.40, No.41
80	11	$\int_0^\infty \varphi(r) d^2(r) pr$	$\int_0^\infty \varphi(r) p^2(r) dr$	"	"	"	"
88	10	写真 1	写真No.19	174	第3表	相對温度	相對湿度
"	20	" 2	" No.20	180	6	$B_{nap} s$	B_{napus}
89	1	" 3	" No.21	181	2	<i>Faphanobras-sica</i>	<i>Raphanobras-sica</i>
"	3	" 4	" No.22	182	4	<i>Horde m</i>	<i>Hordecum</i>
"	12	" 5	" No.23	183	13	<i>nap s</i>	<i>napus</i>
"	"	" 6	" No.24	244	19	單位生殖	單爲生殖
"	14	" 4	" No.22	248	15,16	温度氏はでも	湿度でも
"	22	" 7	" No.25	"	16	尙松島	尙松島氏は
"	27	" 8	" No.26	252	13	Schwarkinowa	Schkwarnikow
"	28	" 9	" No.27	"	"	"	"
90	3	" 12	" No.30	257	6	写真1-5	写真No.56の1-5
"	10	" 8	" No.26	"	"	"	"
"	11	" 11	" No.29	259	8	写真4-5	写真No.56の4-5
"	12	" 9	" No.27	260	6	" 6	" No.56の6