

Koji YAMAMOTO : The Behavior of Chromosomes in Barley I. Non-Random Movement during Mitotic Cycle (English summary on p. 289)

オオムギ染色体の行動 I. 体細胞分裂中期における相同染色体の位置

山 元 皓 二

東京大学農学部, 東京

オオムギ (*Hordeum vulgare L.*) の染色体 ($2n=14$) をギムザ C-分染法により染色した。すべての染色体が動原体に近い部分にバンド (構成ヘテロクロマチン) を持っていた。本実験に用いた品種 (愛媛裸 1 号) の特徴としてバンドの濃淡差により染色体を 2 群に分けることが出来た。また、各染色体の持つ形態とバンド紋様とに基づいて 7 対の染色体を完全に識別することが出来た。これらの性質を利用し、体細胞分裂周期における染色体の行動について研究を行なった。分裂前期になると、すべての染色体が動原体部分で折れまがった V 字型の形態をとり、動原体を 1 つの極に向け、他の極に両腕をのばした状態で出現してくる。この状態は前回の細胞分裂における終期の配置を間期の間それほど崩さずに保持した結果であることが、クロモセンター (染色体上のヘテロクロマチンに対応すると考えられている) の間期核内における局在より示唆された。このように核内において染色体全体が方向づけられている上に、7 対の相同染色体は近接して配置されていることが中期像の観察により明らかとなった。この近接配置は中期から後期にかけて強まり、後期においては動原体に近い部分で密着している像も観察された。さらに非相同染色体の間でもバンドの濃淡差により 2 つの群を形成していた。これらの観察より染色体は分裂周期を通してランダムに動きまわっているのではなく、ある秩序を持ちながら行動していると結論される。

緒 言

染色体分染法を利用した染色体研究の発展には著しいものがある。オオムギにおいても LINDE-LAUSEN (1975), NODA (1976) によって C-分染法の適用が試みられて以来、核型分析だけでは不可能に近かった染色体の多型現象や系統分化の研究が進められている (VOSA 1976, LINDE-LAUSEN 1978, LINDE-LAUSEN *et al.* 1980)。また、分染のパターンと染色体の形態から 7 種の染色体対の識別が可能なことを利用し、遺伝学的に求められた連鎖群を細胞学的に同定された染色体に一致させる努力がなされている (NODA & KASHA 1980)。

7 対の染色体が全て識別できることを利用すれば、体細胞および生殖細胞内の染色体の行動について情報を得ることが出来るはずである。すでに、分染法が適用される以前よりオオムギにおいて体細胞分裂期に相同染色体が近接した位置にあることが知られている (FEDAK & HELGASON 1970)。同様の報告は植物に限定しても、フタマタタンポポ、タルホコムギ (KITANI 1963), パンコムギ (FELDMAN *et al.* 1966), エンバク (DUBUC & McGINNIS 1970), ライムギ (YOSHIDA *et al.* 1974) などにおいてなされている。これらの報告は、染色体数の少ないフタマタタンポポ ($n=3$) を除き、全染色体の中の識別可能な少数の相同染色体対を分析して得られた結果であり、すべての染色体について観察されたものではない。本論文においては分染法の適用により全染色体の識別が可能になることを用いて、体細胞内における染色体の秩序をもった配置と、それより推定される細

胞周期を通した染色体の行動について報告する。

材料および方法

材料としてオオムギ (*Hordeum vulgare L.*) 愛媛裸 1 号の根端分裂組織細胞を用いた。オオムギ種子をシャーレ内の湿らせたろ紙上に置き、25°C で 48 時間発芽させた。種子根を先端より 5~10 mm の長さに切り取り、アルコール：酢酸 (3:1 v/v) 液で固定し、冷蔵庫内に一晩置いた。分裂中期の細胞を集積する場合には固定に先だち 8-hydroxyquinoline 0.002 M 溶液に低温下 (冷蔵庫内) で 2 時間浸漬した。

分染は原則として LINDE-LASUEN (1975) のギムザ・C-分染法に従った。ただし、2×SSC の pH は 7.0 に調整しない方が好結果が得られた。

各染色体の動原体間の距離を測定するために、良く拡がった中期像を写真 (カラースライド) に撮影し、プロジェクターを用いて紙に写しつつある。中期像間で比較が出来るように、各中期像で最大の距離を 1.0 として相対的な距離を求めた。

結 果

1) ギムザ・C-バンド紋様による染色体の識別

分染を行なった一般的な中期像を Fig. 1 に示した。多くの中期染色体を観察した結果を基に Fig. 2 に示すような idiogram が得られた。染色体の番号は NODA & KASHA (1980) の提案に従って付した。C-分染法により染色される構成ヘテロクロマチンは各染色体の動原体に近い部分に多く存在していた。染色体には濃く染色されるバンドを持つもの (Nos. 3, 4, 7) と淡く染色されるバンドを持つもの (Nos. 1, 2, 5, 6) があった。細胞や根端の違いにより出現したり、しなかったりする不安定なバンドは idiogram の中に点線で示した。どの中期像をとっても濃いバンドを持つ染色体は互いに容易に識別される。淡いバンドを持つ染色体でも No. 6 は二次狭窄を持つこと、No. 5 は全体が短く長腕対短腕の比が特徴的であることから識別が可能である。No. 1 と No. 2 の区別はかなり難しいが、No. 1 は中央部に動原体をもつこと、No. 2 は No. 1 より明らかに長く、動原体は中央になく、その近辺のバンド以外に点状ではあるが明らかなバンドを持つことにより区別は可能である。このように、オオムギの染色体は形態と C-バンドの紋様とを基にして 7 つの相同染色体対に区別できる。

2) 中期像を用いた染色体配置の分析

すでに報告されているように (FEDAK & HELGASON 1970)，中期像において相同染色体が近くに

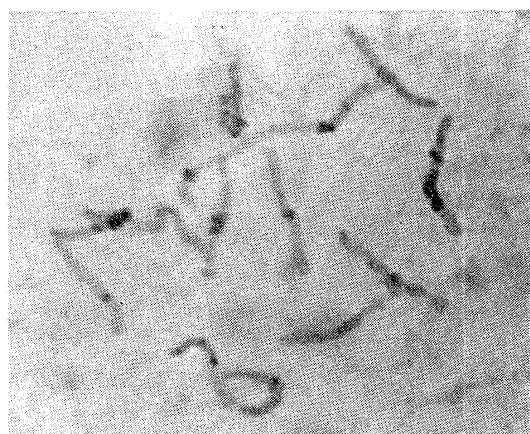


Fig. 1. A typical cell with 14 well-spread Giemsa C-banded chromosomes ($\times 1600$)

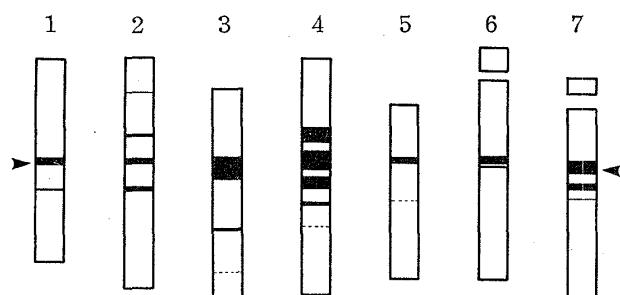


Fig. 2. Idiogram of the chromosomes of barley showing relative length and position of C-bands (solid regions). Arrow head indicate the position of centromeres.

配置されているかどうかを分析した。Fig. 3 は染色体が良く拡がり、7対の相同染色体を識別できる5個の中期像について、各染色体間の距離の分布を示したものである。染色体全体の中において、各々の相同染色体対は近い距離に偏って分布していることが分る。各中期像における相同染色体間の距離の平均値と非相同染色体間の距離の平均値およびそれらの標準誤差を Table 1 に示した。同一細胞内の相同染色体間の平均距離と非相同染色体間の平均距離との差を求め、5つの細胞を用いて差の有意性についてt検定を行なった。その結果 $t=3.32$ 、自由度4、 $0.05 > P > 0.01$ であり、相同染色体は互いに近い位置にあると結論できる。

さらに、中期像のすべてにおいて濃いバンドを持つ染色体(Nos. 3, 4, 7)と淡いバンドを持つ染色体(Nos. 1, 2, 5, 6)とは別々に群を作っているように見えた。ただし、濃淡の染色体が完全に2つの群に分れていることはなく、どちらかの染色体群が他の染色体群に割って入ることにより二分されることが多かった。極端な場合にはどちらかの染色体群が中期像の周縁部に散在するようになることもあった。このことは染色体間の距離によってある程度表現できる。Table 2 は濃いバンドを持つ染色体群内、淡いバンドを持つ染色体群内および濃いバンドを持つ染色体群と淡いバンドを持つ染色体群間ににおける染色体の平均距離と分散を中期像ごとに示したものである。細胞1と2はどちらかの染色体群が他の染色体群によって2分されており、2分された群の平均距離および分散とも他の群のそれに較べて大きい。細胞4と5は濃いバンドを持つ染色体群が周縁部に分布しており、その平均距離だけが大きくなっている。細胞3はこれらの中間の分布をしており、平均距離や分散に特徴はない。いずれにしても、濃いバンドをもつ染色体群内、淡いバンドをもつ染色体群内の染色体間の平均距離および分散の細胞の違いによる変動は、別々の群に属する染色体間の平均距離および分散の細胞ごとの変動より大きい。このように各群の分布状態を既知

Table 2. Mean distance and variance within or between thick- and thin-banded chromosomes

Cell	Within thick-banded chromosomes		Within thin-banded chromosomes		Between thick-and thin-banded chromosomes	
	Distance	Variance	Distance	Variance	Distance	Variance
1	0.580	0.078	0.416	0.035	0.540	0.031
2	0.466	0.041	0.555	0.080	0.526	0.043
3	0.551	0.045	0.483	0.046	0.495	0.045
4	0.506	0.041	0.491	0.052	0.489	0.041
5	0.603	0.056	0.538	0.064	0.574	0.056

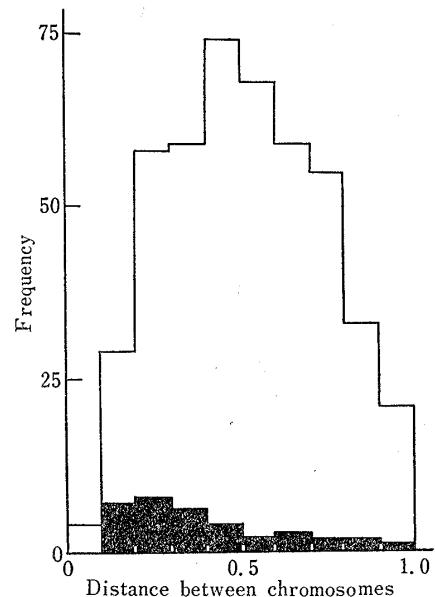


Fig. 3. Distribution of distances between chromosomes
 □ all chromosomes
 ■ homologous chromosomes

Table 1. Comparison of mean distances between homologous and nonhomologous chromosomes within the same cells

Cell	Homologues	Non-homologues	Difference
1	0.283 ± 0.049	0.521 ± 0.022	-0.245
2	0.440 ± 0.100	0.532 ± 0.025	-0.092
3	0.437 ± 0.100	0.506 ± 0.023	-0.069
4	0.379 ± 0.088	0.502 ± 0.025	-0.123
5	0.524 ± 0.075	0.571 ± 0.026	-0.047

Mean distance \pm standard error

Table 2 は濃いバンドを持つ染色体群内、淡いバンドを持つ染色体群内および濃いバンドを持つ染色体群と淡いバンドを持つ染色体群間ににおける染色体の平均距離と分散を中期像ごとに示したものである。細胞1と2はどちらかの染色体群が他の染色体群によって2分されており、2分された群の平均距離および分散とも他の群のそれに較べて大きい。細胞4と5は濃いバンドを持つ染色体群が周縁部に分布しており、その平均距離だけが大きくなっている。細胞3はこれらの中間の分布をしており、平均距離や分散に特徴はない。いずれにしても、濃いバンドをもつ染色体群内、淡いバンドをもつ染色体群内の染色体間の平均距離および分散の細胞の違いによる変動は、別々の群に属する染色体間の平均距離および分散の細胞ごとの変動より大きい。このように各群の分布状態を既知

のものとすれば平均距離や分散の群による変動の意味を知ることが出来るが、逆に平均距離や分散の変動だけから直ちに群の形成があることを結論することはできない。明らかに群の形成の有無を判断するときには、距離という一次元的指標に加えて相対的位置関係など複雑な指標を採用している。

さらに、良く拡がった中期像を得るために 8-hydroxyquinoline 処理を行なった上に、強い力で細胞を破壊し立体的配置を平面的配置に変換したことがどのような影響を与えたかについて知ることはできない。染色体がバンドの濃淡の違いにより 2 つの群を形成しているという示唆を、より明確にするためには、前期像、後期像および終期像を観察する必要がある。

3) 前期、後期および終期像の観察

これらの時期においては 7 対の染色体を識別することは不可能になるが、動原体近辺のヘテロクロマチンの濃淡差は明確であり、染色体の群形成を知るには充分である。観察した数多くの前期、後期および終期像の中には、染色体が 2 群に分れたものにまざって、細胞の押しつぶされた方向の違いにより 1 つの染色体群が他の群に 2 分された像や、2 つの染色体群が上下に重なりあった像も多く見られた。これらの細胞も群の形成を示すものと解釈すれば、観察した前期、後期および終期像の大部分が群の形成のあることを示していた。それらの中から、群の形成の様子が分り易い像を選び写真 (Fig. 4) に示した。

Fig. 4 A に示す前期像は予想通りにバンドの濃淡により染色体が 2 つの群に分かれていることを支持している。さらに濃いバンドを複数個もつ相同染色体 (No. 4) が近接していることも分る。

後期像 (Fig. 4 B, C) においても濃いバンドを持つ染色体と淡いバンドを持つ染色体が別々の群を形成していることが分る。さらに、この時期において相同染色体は動原体近辺で密着しあっている。Fig. 4 B に示すように、染色体は明らかに 7 対に分れ、濃いバンドを持つもの 3 対と、淡いバンドを持つもの 4 対が別々の群を形成している。Fig. 4 C の側面観によれば、中期に赤道板上に並んだ後、染色分体はそれぞれの極へ互いの位置関係を乱すことなく対称のままに移動してゆくことが分る。

両極に分れた染色体は終期 (Fig. 4 D) にバンドを残すようにして先端部分より拡散してゆく。この時期にも濃いバンドを持つ染色体と淡いバンドを持つ染色体が別れて存在していることが分る。

4) 間期核内における染色体の配置

先端部分より拡散して染色性が弱くなった後、間期核になんでも染色性の差は残され、核の一部が濃く染色される。すべての間期核でクロモセンター (chromocenter) は濃く染色される部分に局

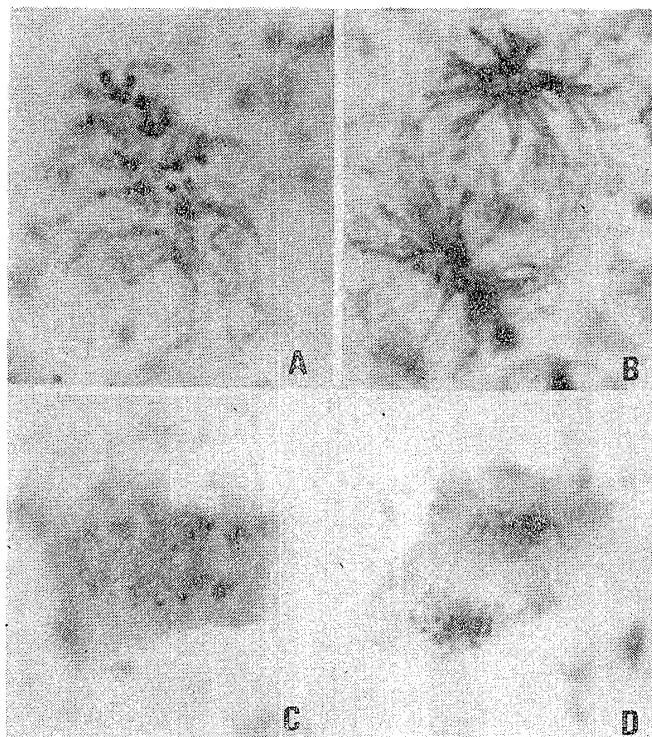


Fig. 4. Prophase (A), anaphase (B, C) and telophase (D) cells with Giemsa C-banded chromosomes (A, B $\times 1250$; C, D $\times 1000$)

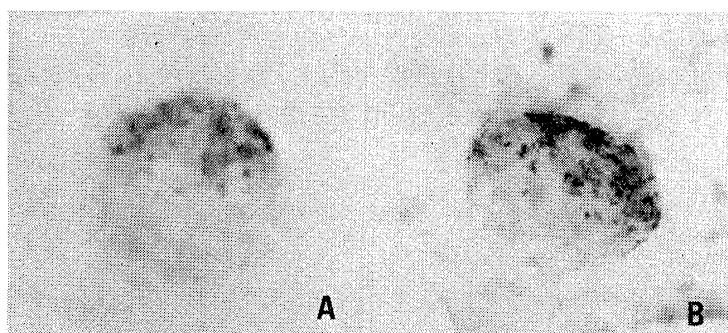


Fig. 5. Interphase nuclei with chromocenters gathered to one side of their surface

在していた (Fig. 5 A, B)。核ごとに局在の程度は異なり, Fig. 5 A のように狭い場所に存在する場合と Fig. 5 B のように広く点在する場合があった。後者の場合にも半球面以上に拡がって点在することは無かった。また, クロモセンターは核の表面に存在していることも分った。

両極に引かれていた染色体は動原体の部分を極に向けたままで先端部分より拡散し, 動原体に近い部分に存在していたヘテロクロマチンをクロモセンターとして核の 1 つの極に残したままでいるということは, 染色体が互いの位置を大幅に崩していないことを示唆する。また, クロモセンターが核の表面に存在することは染色体がこの部分で核膜に付着していることを示唆し, 間期核内における染色体の彷徨はないものと思われる。ただし, 後期像において見られたような相同染色体の密着や非相同染色体間の群の形成があるかどうかを知ることは出来ない。少なくともクロモセンターが必ずしも対になって存在しているという証拠は得られなかった。また, 間期核内に存在するクロモセンターの数は染色体数ともバンド数ともかならずしも一致しなかった。クロモセンターとヘテロクロマチン (バンド) の間の関係については残された問題も多い。

5) 体細胞における染色体の行動

以上の観察結果を基にオオムギの根端分裂組織細胞内における染色体の行動を次のようにまとめることが出来る。

体細胞分裂前期に動原体の部分で V 字型に折れた全染色体は 1 つの極に向けて動原体を配置し, 他の極に向けて両腕を伸した状態で出現していく。このとき, 各相同染色体は互いに近い位置に存在し, さらに全染色体は 2 つの群を形成している。中期が近づくと染色体は短縮し, 動原体を同一平面に置きつつ回転を行ない腕を逆の極に移動させるものも出現し, 平面の両側に染色体の腕がつき出された形となる。続いて染色体は全体にわたり動原体の置かれている平面に横たわり, このとき側面観は細胞の中央に染色体が固まりを形成しているように見える。そして, この固まりは姉妹染色分体の動原体が別々の極へ引かれるようにして崩され, 後期へと進んでゆく。この時, 相同染色体は動原体に近い部分において密着の度合を強めており, 非相同染色体間でも群が形成されたままの状態で両極へと引かれ続ける。染色体はその配置を乱さないままに後期を迎える, 両腕の先端部分より拡散し, 間期核となる。間期核内においても染色体は彷徨することなく, クロモセンターの部分で核膜に付着した状態で, ほぼ終期の配置を保持し続ける。そして再び前期になると, 染色体は秩序を保ったまま出現することになる。

考 察

染色体の分染技術 (Giemsa C-banding) を用いることにより, オオムギ根端分裂組織細胞内における染色体の秩序ある行動を明らかにすることが出来た。

間期核内において染色体は動原体部分を1つの極に置き、先端部分を他の極に向けて規則正しく配置されているということを、LEVAN (1946) が *Alium* 属を材料とし、そのヘテロクロマチンを観察することにより明らかにしている。また、オオムギ (*Hordeum vulgare*) について、KUMAR & NATARAJAN (1966) が放射線によって誘発される染色体異常の観察に基づき、YAMAMOTO (1969) はフォイルゲン染色した間期核内の部分的な濃淡差とその部分のDNA合成時期の違いを基に同様の報告を行なっている。本実験もこれらの報告を支持している。

相同染色体が体細胞分裂中期において近接した配置を採っているという報告も多い。ムギ類だけに限っても KITANI (1963) が *Aegilops squarrosa* の胚乳細胞で、FELDMAN *et al.* (1966) が *Triticum aestivum*, DUBUC & McGINNIS (1970) が *Avena sativa*, FEDAK & HELGASON (1970) が *Hordeum vulgare*, YOSHIDA *et al.* (1974) が *Secale cereale* の根端細胞で報告している。これらの報告に共通していることは、細胞内の全染色体を同時に観察することにより得た結果でなく、形態的に識別の出来る少数の染色体に注目して得た結果であることである。本論文において報告したように、全染色体を識別できる技法を用い、全染色体を同一中期像内において観察した結果も相同染色体が近接して配置されているということを支持している。LINDE-LAUSEN (1975) および NODA & KASHA (1980) の報告は染色体の配置について述べたものではないが、C-分染された染色体の配置を掲載写真で見ると、決してランダムに配置されていないということが読み取れる。オオムギの染色体は体細胞分裂中期において相同なものが近接していると結論してよいであろう。

相同染色体が近接しているという報告は、KITANI (1963) を除き、染色体動原体間の距離を測定するという方法を採用している。すなわち、半径0.5の円内にランダムに撒かれた2質点間の距離の理論的な分布と実際に測定した染色体間距離の分布とが一致するかどうかで判定する (FELDMAN *et al.* 1966)。相同染色体が近接しているという結論は、距離の分布が明らかに理論的分布より小さい方に偏っており、ランダムに撒かれたとは考えられないということから導かれたものである。それと同時に、距離を用いた分析の正当性を裏書きするように、非相同染色体間の距離の分布は理論曲線に一致すると見なして良く、非相同染色体はランダムに中期像内に撒かれていると結論する。この結論は本論文の非相同染色体も群を形成して配置されているという知見と完全に食い違っている。

この違いが中期像を得るための操作によってもたらされる人為的な効果と距離を配置の指標にすることの限界の両方から生じたものであろうということは結果の中すでにふれておいた。われわれが染色体の全体的な拡がりの中に或る定まった分布のパターンを見るのは距離という一次元的な指標だけに頼っているのではなく、染色体間の位置関係のようより複雑な指標を持ち込んでいることは言うまでもない。さらに、染色体がいくつかの群に分れていたとしても、互いに他の群に属する染色体を選び距離を測定したのでは群を形成しているという情報は得られにくい。たとえ、同じ群に属する染色体を選び距離を測定したとしても、操作の段階で細胞の破壊とともに群が破壊されることがあること、および相同染色体間よりは大きい距離を当然持つであろうことを考慮すれば、分布が理論曲線より有意に偏っているという結論を下すには標本数を非常に大きくしなければならないであろう。この欠点を補うために、前期像や後期像の観察が必要であった。

KITANI (1963) は *Crepis* を用い、染色体全体の中における相同染色体の近接配置について報告している。しかし、*Crepis* は3対の染色体を持つだけであり、非相同染色体の間での秩序を調べるには不都合である。非相同染色体間の秩序ある配置が一般的なものであるかどうかは、染色体数が多くもなければ少なすぎもしない材料を用いて確めてゆかねばならない。

現在、相同染色体は間期核内において対合しており、その結果が分裂中期における近接配置とな

って現れてくると考えられている (FELDMAN 1966)。さらに、間期核内における対合は遺伝子の発現 (対立遺伝子のいずれが発現されるかなど) や還元分裂のときの 相同染色体の対合に関連しているという視点より研究が進められている (SEARS 1976)。しかし、本実験結果はこれらの考え方に対する疑問を呈している。間期核内のクロモセンターの分布は、すべての染色体が動原体の部分を核の 1 つの極に置いており、核膜に付着した状態で分裂終期での配置を大幅に崩していないことを示唆してはいるが、間期を通して対をなしているという確証は得られなかった。さらに、相同染色体の近接は前期より後期において強く、ヘテロクロマチンの部分で密着している像も得られた。同様の現象は KITANI (1963) も報告している。これらの結果は、相同染色体の近接は間期核内の対合の結果を反映しているのではなく、分裂期にこそ近接配置を採らなければならない理由があるのでないかということを示唆している。すなわち、細胞が分裂することは相同染色体の近接配置を崩すよう奮闘する (FELDMAN 1966) のではなく、秩序を形成するように奮っていると考えなければならない。

また、この秩序は相同染色体の近接配置にとどまるのではなく、非相同染色体の間にも群の形成として存在していることが明らかとなった。このことは、体細胞分裂期における相同染色体の近接配置を還元分裂のための前提として考えることに疑問を投げかける。これらの疑問は還元分裂に入る直前の染色体の行動を明らかにした上で解決されなければならない。

引用文献

- DUBUC, J. P. and R. C. MCGINNIS 1970. Somatic association in *Avena sativa* L. Science **167** : 999~1000.
- FEDAK, G. and S. B. HELGASON 1970. Somatic association of chromosomes in barley. Can. J. Genet. Cytol. **12** : 496~500.
- FELDMAN, M. 1966. The effect of chromosome 5B, 5D, and 5A on chromosomal pairing in *Triticum aestivum*. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. **53** : 1447~1453.
- _____, T. MELLO-SAMPAYO and E. R. SEARS 1966. Somatic association in *Triticum aestivum*. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. **56** : 1192~1199.
- KITANI, Y. 1963. Orientation, arrangement and association of somatic chromosomes. Japan. J. Genet. **38** : 244~256.
- KUMAR, S. and A. T. NATARAJAN 1966. Kinetics of two-break chromosome exchanges and spatial arrangement of chromosome strands in nucleus. Science **209** : 769~797.
- LEVAN, A. 1946. Heterochromaty in chromosomes during their contraction phase. Hereditas **32** : 449~468.
- LINDE-LAUSEN, I. 1975. Giemsa C-banding of the chromosomes of 'Emir' barley. Hereditas **81** : 285~289.
- _____. 1978. Giemsa C-banding of barley chromosomes. I. Banding pattern polymorphism. Hereditas **88** : 55~64.
- _____, R. von DOTHMER and N. JACOBSEN 1980. Giemsa C-banding in Asiatic taxa of *Hordeum* section *Stenostachys* which note on chromosome morphology. Hereditas **93** : 235~254.
- NODA, K. 1976. A Giemsa technique for identifying barley chromosome. Barley Genetics III (Ed. H. Gaul), Karl Thieme Munchen. p. 305.
- _____. and K. J. KASHA 1980. A proposed barley karyotype revision based on C-band chromosome identification. Crop Sci. **18** : 925~930.
- SEARS, E. R. 1976. Genetic control of chromosome pairing in wheat. Ann. Rev. Genet. **10** : 31~51.
- VOSA, C. G. 1976. Chromosome banding patterns in cultivated and wild barleys (*Hordeum* spp.). Heredity **37** : 395~403.
- YAMAMOTO, K. 1969. Radiosensitivity of chromosome in cell cycle of germinating barley seed. Doctor Thesis. Tokyo Univ. p. 17~20.
- YOSHIDA, H., H. YAMAGUCHI and Y. TAKANO 1974. Somatic association of homologous chromosome in rye. Japan. J. Genet. **49** : 45~47.

Summary

By using the Giemsa C-banding technique, chromosomes in the root meristematic cells of barley (*Hordeum vulgare* L., cultivar Ehimehadaka No. 1, $2n=14$) were stained. The C-bands, which reveal the presence of constitutive heterochromatins, mostly localized on the proximal regions of the chromosomes. By the differences in morphology and C-banding pattern among chromosomes, all seven pairs of homologous chromosomes in the same cell could be identified. Furthermore, the chromosomes were divided into two groups. Three pairs (chromosomes 3, 4 and 7) had thick bands and the other four pairs (chromosomes 1, 2, 5 and 6) had thin bands. By using these characteristics of the chromosomes, the behavior of chromosomes during mitotic cycle was investigated.

In the early prophase, all chromosomes had 'V' shape and their vertices, *i.e.* centromeres, were gathered to one pole of nucleus and arms were stretched towards the opposite pole. This observation suggests that the chromosomes do not move randomly in the interphase nucleus after the telophase of preceding mitotic division. This interpretation is supported by the finding that the chromocenters, which are corresponded to C-bands on chromosomes, were distributed on one side of the surface of interphase nucleus.

Distances between the centromeres of chromosomes in a metaphase cell with well-spread and identifiable seven pairs of homologous chromosomes were measured after the cell was photographed. To minimize differences due to degree of squashing of cell, each distance was divided by the distance between chromosomes farthest apart in the cell concerned. The statistical analysis of differences between the mean distance of homologous chromosomes and that of nonhomologous chromosomes in the same cells revealed that the former was significantly shorter than the latter. It is concluded that the homologous chromosomes are arranged side by side in the nucleus. This conclusion is also supported by the observations of prophase and anaphase cells in which homologous chromosomes were found to be located near to each other. Besides the ordered arrangement in the homologous chromosomes, nonhomologous chromosomes were found in two clusters : one was comprised by the thick banded chromosomes and the other by the thin banded chromosomes. The obtained results suggest that the chromosomes do not move randomly throughout the mitotic cycle.

There is a view that an orderly arrangement of chromosomes results from the somatic association of homologous chromosomes in the interphase nucleus and that this interphase association may function as a prerequisite to meiosis in germ cells. In the present experiments, it is found that the chromocenters were gathered to one side of nucleus, although the evidence that they were in pairs has not been obtained. Furthermore, the present results suggest that the orderly arrangement is not restricted within the homologous chromosomes as mentioned above. The necessity of re-examining the view was discussed.

K. YAMAMOTO

Faculty of Agriculture, Tokyo University, Tokyo 113.