

下村裕子*・栗山悦子*： ^{60}Co γ 線照射食品の
組織変化に関する研究 (2)** 発芽抑制した
タマネギの休眠芽について

Hiroko SHIMOMURA* & Etsuko KURIYAMA*: The morphological
and histological effects of ^{60}Co γ -rays (2)**.
Dormant buds of onion bulb

(Plate XVI-XIX)

放射線によるタマネギ休眠芽の発芽抑制に関して1955年 A. H. Sparrow¹⁾らの報告をはじめ諸外国には多数の報告があり、カナダではすでに1965年に ^{60}Co γ 線10,000~15,000 rad. の照射が許可されている。

国産タマネギ“泉州黄”種について、1959年緒方らは3,000 rad. で発芽抑制可能であり、照射により内芽の褐変を生じると報告している²⁾。1968年以来、タマネギの発芽抑制に照射処理法を実用化する目的で科学技術庁食品照射委託研究費による総合研究が行なわれ、われわれは ^{60}Co γ 線照射によるタマネギ休眠芽特に生長点付近の組織変化についての検討を分担した。

タマネギ球の構成、肥大過程、萌芽過程³⁾および組織学的観察⁴⁻⁷⁾については若干の報告があるが、生長点の構造の詳細にはふれていない。そこで照射品の組織変化の過程を知るに際し対照としての非照射品の生長点付近の詳細な観察も行なったので以下[A]非照射品、[B]照射品の順で記載し組織変化の過程を報告する。なお、タマネギの構造に関する用語は研究者により異なるので本報の記載に際しては青葉氏⁸⁾のものを参考とした。

実験の部

材料 Table 1 に示す材料①~④を用い、それぞれ収穫後約1ヶ月経過時に Table 2 に示す照射条件で3種の照射品を作成し、これら照射品および①~④の非照射の対照品とを15°Cの定温室内に貯蔵したものを試料とした。以下それぞれの材料を①~④の略号を用いて記載する。

* 東京薬科大学女子部。Tokyo College of Pharmacy, Women's Division, Sakuragi, Daito, Tokyo, Japan.

** Continued from the first report in Journ. Jap. Bot. 45: 343. 1970.

Table 1.

Material	Habitat	Harvest	Irradiation
① Senshū Yellow (泉州黄)	Sennan, Ōsaka	1969. 6. 10	1969. 7. 8
② Sapporo Yellow (札幌黄)	Sapporo, Hokkaido	1968. 10. 10-20	1968. 11. 12-14
③ "	Iwamizawa, Hokkaido	1969. 9. 30	1969. 10. 28
④ "	Sapporo, Hokkaido	1970. 9. 7	1970. 10. 12

Table 2.

Dose	3,000 rad.	7,000 rad.	15,000 rad.
Dosage rate	6×10^4 R/hr.	1×10^5 R/hr.	1×10^5 R/hr.
Hour	3 min.	4 min. 20 sec.	9 min.

(注) イオンを均一化するため途中で材料を 180° 回転。

方法 (1) 照射によるおもな変化部分および変化の時期を知るためには、休眠芽がりん葉内の深部にあるため照射後 1~2 週間毎に各試料区数球ずつを解剖し観察した。

(2) 組織変化の観察には前記と同時期にタマネギのりん葉を除いた分球のみをツェンケル氏液で 24 時間固定、同時間水洗後、1/2 葉序の相対する一対の葉および生長点の中心を通る厚さ約 10 μ の縦断切片としたものを用いた。なお細胞膜質の観察には切片を 0.5% ヨウ素・エタノール液 (5~10 分間), 0.5% チオ硫酸ナトリウム液 (5 分間) で処理後、酢酸メチルグリーン液、塩化亜鉛ヨウ素液、スダンⅢ液、シッフ氏液で染色、反応を行なった。

結果 以下材料④について詳細に記載する。

[A] 非照射品

1. タマネギ球の構造³⁾ (pl. XVI)

1-1 休眠期：りん莖の深部に小丘状の生長点 (1-gp*) があり、それを 1/2 葉序で囲む幼葉 (1-y1f)——葉鞘部と葉身部の分化の明らかでないもの 1~2 枚とその外側に

* Abbreviations used in text-figures are as follows:—bpr: bract primordium, br: bract, bu: bud, cx: cortex, dk: disk, en: endodermis, fol: foliage leaf, gp: growing point, lfs: leaf sheath, lpr: leaf primordium, mrc: meristematic cell, mrz: zone of meristematic cells, ncr: necrosis, nrz: necrotic zone, prc: procambium, rof: fibrous root, scl: scaly leaf, scp: flower scape, spl: sprout leaf, ylf: young leaf.
a. d.: anticlinal division, p. d.: periclinal division.

葉鞘部と葉身部の明らかに分化した幼葉 6~8枚 [以上将来球の外に開出する葉 (2-fol, -spl)]——, その外側に分球を構成するりん葉 (1-scl₁) 数枚がある。この様な休眠芽 (1-bu) を含む分球数枚を中心として数枚のりん葉 (1-scl₁) がとりまき互に密に接するが最外層のりん葉 1~2枚は褐色膜質となりはがれやすい。これら幼葉およびりん葉は短縮した茎 (1-dk) (この部分を茎盤 disk と称している³⁾) から生ずる。この時期には外観上の發育変化は認められないが, 内在する生長点はわずかに葉原基を分化し幼葉を生ずるので顕微鏡下ではこの過程を知ることができる。

1-2 休眠終了期: 11月下旬~12月上旬には生長点での葉原基の分化はほとんどなく花茎の分化が始まり, 次第に發育する様子が観察できる。一方, 幼葉は分球内で十分伸長し, 通例 12月中旬~1月下旬に緑色の普通葉 (2-fol) として球から開出しいわゆる休眠終了となる。この普通葉 (3-fol) に包まれその中心部にある花茎 (3-scp) は2月には高さ約 5 mm となりタマネギを縦断した際肉眼で認め得ようになりさらに伸長して4月には約 5 cm に及ぶ。

材料②, ③は上記④とほぼ同様の發育の傾向を示すが, 品種, 収穫時期の異なる①では球の形, 分球の数, 休眠終了の時期などの点で②~④とは異なり, 本実験下では12月中旬普通葉の伸長開発している個体でもその生長点は花茎の分化を示さなかった。

2. 茎盤の構造 (Pl. XVI-XVIII) (但し Pl. XVIII は照射品)

茎盤 (Pl. XVI の 1-dk) はタマネギ球内の下端中央部にあり, 縦断面では上下に偏圧された円形で, 上面には生長点 (Pl. XVI の 1-gp) とそれを取りまく幼葉 (Pl. XVI の 1-y1f), それに続いて分球構成のりん葉 (Pl. XVI の 1-scl₁) を付ける。これらを付着する節は節間が極度に短縮するため茎の上部に相当する部分はほぼ平板状を示すゆるい弧となっている。茎盤の上面に近い内部は後に記載する照射による組織変化 (ネクローシス) の起こる部位であり, 前形成層条 (Pl. XVII の 1₂-prc) と分裂盛んな細胞群 (Pl. XVII の 1₂-mrc) によって構成され, 分裂初期では圧縮されて形の不明瞭な, のちには格子状に整列する帯状の zone (Pl. XVIII の 1-mrz) として観察される部位である。この zone は茎盤上部側面で皮層 (Pl. XVI の 3-cx, Pl. XVIII の 1-cx) に連なる。茎盤側面の皮層にもりん葉は生じている。

皮層内側には内皮ようの一連の細胞環 (Pl. XVI の 3, Pl. XVIII 1-en) があり, 収穫後1ヶ月の時点ではすでにこの部位で根の分化が進み皮層内に放射状に配列する。これらの大部分は休眠終了時にはすでに皮層をつらぬき球の外にひげ根 (Pl. XVI の 3-, 4-rof) として現われている。

3. 生長点の組織構造 (Pl. XVII)

3-1 休眠期 (Pl. XVII の 1~6): 生長点 (1₂-gp) はその周囲にある2~3節隔った幼葉 (y1f_{3, 4}) の基部よりやや落ち込んだ位置にあり, 新しい幼葉は1/2葉序に従ってつぎの一葉間期の変化の過程 (1)~(6) を経て生長点で形成される。

Pl. XVII の 1~6 の番号は本項以下の文中に於ける (1)~(6) の過程に相当する。

(1) 葉原基出現直前 (Pl. XVII の 1, 1₂)

生長点は **maximum area phase** を示し、頂部の偏在した丘状で、上面視ではその輪郭はほぼ円形、中心を通る縦断面では長辺 (a) 約 310 μ 、短辺 (b) 約 110 μ 、底部 (c) 約 350 μ で a, b 辺に平行して 3~4 層の層状に並んだ細胞から成る。短辺に接する最も若い幼葉 (y1f₁) は葉身と葉鞘の分化を示さずその下部は生長点を環状にとり囲む程には及んでいない。

(2) 葉原基の出現 (Pl. XVII の 2)

幼葉 y1f₁ の一葉間期前に分化した幼葉 (1-y1f₂) の葉鞘 (1fs₂) の頂部が生長点長辺 (a) の延長線上の高さに達するところ、生長点長辺のほぼ中央で第 2 層目の一細胞に並層分裂 (2-p. d.) が現われる。つづいてこの細胞の両側の細胞も同様の分裂をするため直線状であった長辺の中央はややもり上がり葉原基の出現として認められる。

(3) 幼葉 y1f₁ の葉鞘分化の前期 (Pl. XVII の 3, 3₂)

長辺 (a) をほぼ 3 等分する 2 ケ所で第一層目の数細胞が垂層分裂 (a. d.) を起こしややくぼむので葉原基 (lpr) をもつ長辺はゆるい波形を示すようになる。これらのうち y1f₂ の基部 (1-d) に最も近い位置のふくらみを形成している 2 層目の細胞に並層分裂が起こり、この部分は次第に発達しのちに葉鞘となる。一方、この部分と葉原基 (lpr) との間のくぼみの垂層分裂によって生じた細胞に内接する 2 層目以下の細胞は縦列し、この細胞群によって葉原基と葉鞘の分離が起こる。この間幼葉 y1f₂ も發育すがその小舌を分化するには到らない。

(4) 葉鞘分化の後期と新幼葉分化の前期 (Pl. XVII の 4)

前項 (3) の発達の間、葉原基 (lpr) の細胞は著しい分裂も増大もない。葉原基と生長点頂部との間にあるくぼみの一層目の垂層分裂 (3-a. d.) に内接する細胞はほぼ平行に縦列し、生長点の一部であった葉原基は幼葉として分化のきざしをみせはじめ、この幼葉への前形成層は次第に明らかとなる。一方、この間、短辺は次第にその長さを増しつぎの葉原基を生ずる準備を示す。

(5) 新幼葉 y1f' 分化の後期 (Pl. XVII の 5, 5₂)

幼葉が生長点から分離する過程の前半では幼葉上部は丸いふくらみ (y1f') として突出するため生長点頂部と明らかに区別できるが、その下部は細胞の配列状態から将来分離する部分を推察し得るに過ぎない。後半では新幼葉 (y1f') は高さや葉身相当部の厚さを増しつつ生長し、生長点頂部の上を若干おおうようになり、生長点と幼葉との境は明らかとなる。

(6) 相対する葉の葉原基出現直前 (Pl. XVII の 6)

上記 (1) に相当する過程が相対する部分に現われるのを示す。

3-2 休眠終了期 (Pl. XVII の 7, 7₂): 球から葉の開出 (いわゆる休眠終了期) に先

だち 11 月下旬～12 月中旬に生長点は新葉を分化することなく花茎へと分化発達する。

最も若い幼葉 (5-yIf') の発達が不十分であり、これと相対する位置の長辺上に葉原基がまだ分化しない時期 (5, 5₂ の初期) に長辺のほぼ中央がややくぼみこれに内接する細胞はおおむね縦列し包の原基 (bpr) として分化するきざしを見せる。最も若い幼葉 yIf' はその後葉鞘を分化することなく未熟な包 (br') へと次第に発達する。

一方、生長点下部の細胞の並層分裂と増大に加えて未熟な包 (br') および包の原基の下部も盛んに分裂しこれらは一体となって花茎へと分化する。

幼葉が伸長し球から開出するいわゆる休眠終了頃には花茎は十分発達し、未熟な包 (br') および包の原基 (bpr) は生長点表面にそって伸長し 1 対の包 (Pl. XVI の 3-br) として発達、生長点は花茎端 floral apex となる。

[B] 照射品

1. 変化の部位と時期 (Pl. XVI の 2, 4, Pl. XVIII)

照射後初期には実体顕微鏡下で認めうるような変化はない*。

変化の起こる時期は多少の個体差があり、材料②～④ではおおむね照射後 1 ヶ月目 (11 月下旬～12 月上旬)、①では 2 ヶ月目 (9 月上旬) の 2～3 週間に、莖盤上部に肉眼で容易に認めうる黄色の zone (Pl. XVI の 4-nrz, Pl. XVIII の 2-nrz) が現われる。この変化は同一材料では照射線量の差に関係なく同一部分にほぼ同時期に起こる。

その後経時にともない黄色の zone 上部の幼葉の褐変または乾燥萎縮が起こり、タマネギを縦断したとき分球内に生じた空隙およびなかくざれが目立つ。この褐変の程度は 3,000 > 7,000 > 15,000 rad. の傾向を示す。15,000 rad. 照射品はおおむね幼葉は白く萎縮し分球中心部に空隙を生じる。

照射によるこれらの変化は照射品中発芽した個体にも観察される。Pl. XVI の 2 の 15,000 rad. の発芽品と Pl. XVI の 4 の生長点部分の縦断切片とは同一球内の異った分球を検体としたものである。

なお照射品の発芽は② > ③ > ④の傾向があった。

2. 組織変化 (Pl. XVIII の 4)

2-1 ネクロシスの部位および範囲：照射後 1 ヶ月目 (11 月中旬) に生長点直下にある前形成層 (縦断切片ではおおむねその横断面が観察される) およびその付近の細胞中に萎縮した細胞すなわちネクロシス (Pl. XVIII の 1-, Pl. XIX の 1-ncr) が出現する。その後、ネクロシスの現れる範囲は徐々に拡がり、前記の各時期には莖盤上部にある分裂盛んな帯状部分 (Pl. XVIII の 1-mrz) および内皮よりの細胞環 (Pl. XVIII の 1-, 2-en) へと連なる部分に迄及ぶ。肉眼により黄色の zone (Pl. XVI の

* ジャガイモの休眠芽では 24 時間後 15,000～30,000 rad. 照射品中明らかなネクロシスが認められる⁸⁾。

4-nrz として認めたのはこの部位 (Pl. XVIII の 2-nrz) である。

2-2 生長点の組織変化: 照射による変化を黄色の zone として認めうる時期の生長点の組織変化の程度は照射線量に関係なく, 照射時の生長点での葉原基の分化発達過程 (Pl. XVII の 1~6) と関連しつぎの 2 つのタイプに分けることができる。

タイプ 1 (Pl. XIX の 2) maximum area phase を示す生長点 ([A] 3-1 (1) に相当) では生長点付近の表層 2~5 層の細胞はやや萎縮し, あるいはやや扁平な長方形となるが膜質の変化は認められない。

タイプ 2 (Pl. XIX の 3) maximum area phase を示さない生長点すなわち葉原基の分化発達過程 ([A] 3-1 (2)~(5) に相当) の生長点の細胞は次第に萎縮し, あるいはやや上下に伸長し膜質は変化する。特に葉原基 (lpr), および分化しつつある葉鞘への前形成層条 (prc) にこの変化が顕著である。

なお照射時期の遅かった材料②では照射時すでに生長点が花茎へと発達しはじめたものがあり, Pl. XIX の 4 にみるように照射による生長点付近の変化は前記タイプ 1, 2 とやや異なる。すなわち放射状に並んだ花茎の細胞はほとんど萎縮することはなく上下にやや伸長し, 生長点下部の広範囲にわたって膜質が変化する。

2-3 根の組織変化: 照射時すでに皮層内に分化発達していた根は照射後初期では組織の変化は認められない。非照射品の休眠終了時期になると生長点付近にある伸長にたざさわる分裂の盛んな部分の細胞が照射品では萎縮褐変し膜質も変化する。

2-4 膜質の反応: ネクローシスを起こした細胞および zone 上部の幼葉中褐変した細胞は部分的に木化およびコルク化を示すが, 白く萎縮した幼葉の細胞はセルロース膜の諸反応を呈する。

材料①~③の照射品も上記④とほぼ同様の組織変化を示した。

考 察

(i) 発芽抑制効果 本実験の条件下の“札幌黄”ではおおむねの個体に照射による発芽抑制効果を認めたが, 外観上非照射品と同様の発芽を示すものもあり発芽抑制効果は不完全であった。“泉州黄”では照射品中に発芽するものをほとんど認めなかったが, 対照の非照射品の発芽も少ないことから発芽抑制効果のあらわれとのみ判断することは出来ない。

照射品中発芽抑制されたものも抑制されなかったものも生長点付近は同様の組織変化を生じていたことから照射品の発芽は照射後に新生した葉ではなく照射時すでに分球内で完成していた幼葉の細胞の分裂と伸長によるものと思われるので, 今後幼葉の発達の初期すなわち収穫時期を早めた材料を用いて照射による発芽抑制効果を検討する必要がある。

(ii) 照射線量と組織変化の範囲 個々の球による程度差はあるが照射線量と組織変

化の範囲との間に著明な関係はない。しかし、長期貯蔵の場合低線量照射のものは高線量照射のものに比べ二次的な分球内の中ぐされが多いので品質維持のためには高線量照射が望ましい。

(iii) 組織変化の時期 肉眼で認めうるような組織変化すなわち黄色の zone の出現は対照の非照射品の休眠終了とほぼ同時期である。このことは照射品のネクロシスの急激な進行はタマネギ内芽の活潑な動きと関係があるものと考えられる。

一方、非照射品の低温貯蔵による休眠期間の延長が行なわれていることから照射後のタマネギの貯蔵温度を低くしネクロシスの起こる時期を遅くし品質の維持を計りうると考える。

(iv) 照射処理有無の判定および照射線量の推定 休眠終了後の検体ではタマネギの莖盤上部の黄色の zone 出現を目標とし照射処理品を判定することは可能であるが、休眠終了前の検体では困難である。また、組織変化の範囲および程度から照射線量を推定することは不可能である。

なお、堀らにより照射品の早期判定法として発根を利用した報告があるが、照射による根の組織変化はそれを裏付けるものとして興味深い。

本実験に多大の援助を賜った国立栄養研究所の岩尾裕之、高居百合子両博士、本実験に協力された佐藤（寺田）祥子氏に深甚の謝意を表する。

本研究の一部は科学技術庁特別科学研究調整費によった。

Literature cited

- 1) A. H. Sparrow: *Nucleonics* 13: 48 (1955). 2) 緒方・茶珍: *園学雑* 28: 143 (1959). 3) 青葉: *園学雑* 23: 249 (1954), 24 (1955). 4) 加藤: *園学雑* 32: 303 (1963). 5) 寺分: *兵庫大研* 7: 71 (1966). 6) Hoffmann, C. A.: *Bot. Gaz.* 95: 279 (1933). 7) Esau, K.: *Plant Anatomy* 463 (1953). 8) 下村・栗山: 第24回日本食品衛生学会で講演。

Summary

The effects of ^{60}Co γ -rays of 3,000, 7,000, and 15,000 rads on the dormant buds of onion were examined with two kinds of stocks on the market, named "Sapporo Yellow" (札幌黄) and "Senshu Yellow" (泉州黄). The materials were irradiated about one month after harvest and the results were as follow:

- (1) A few cells were necrotized in the apical region and tissue of shortened stem. The stem was beneath the growing point and young leaves encircled it. Walls of necrotic cells were partially lignified and suberized.

The necrotic area extended and became a yellowish plate and it was easily visualized in longitudinal section at the time when the control onion ended the resting period.

(2) Histological changes at the growing point showed two types in the area of necrotic cells, in relation to their different stages of development through one plastochron at the time of irradiation.

Type 1: At the stage of maximum area, the walls of outer two or three layers of these cells at the growing point were not changed and remained as cellulose, though the cells withered.

Type 2: At other stages, all the cells in apex became necrotic, sometimes elongated, and their walls were lignified and suberized.

(3) Under these experimental conditions, the sprout of onion could not be inhibited completely. Some irradiated samples, especially these harvested in 1969, sprouted and greenish foliage leaves elongated about 20 cm in length from the bulb in April, 1970 (six months after irradiation). Its appearance was the same as the sprout in control after the resting period, but there was a necrotic zone in the stem of irradiated bulb. This may be because foliage leaves had been formed already at the time of irradiation.

Attempts to determine the time of harvest and irradiation to minimize sprouting of onions during storage, should be examined.

Explanation of Plates XVI-XIX

Plate XVI. *Allium cepa* L. "Sapporo Yellow" (1969). Morphological structure of onion bulb on control, and morphological changes on irradiated samples. 1. Diagrams illustrating median longitudinal section (upper), and median transverse section (lower). 2. Photograms of sprouted bulbs six months after irradiation. (left: control, right: dosage 15,000 rad.) 3, 4. Photograms of median longitudinal section through growing point of the sprouted onion. (3: control, 4: dosage 15,000 rad.)

Plate XVII. "Sapporo Yellow" (1970). Leaf initiation through one plastochron in growing point of dormant bud of onion control. 1-6. Diagrams illustrating different stages in development of leaf initiation. 7. Diagram illustrating early stage in changing from shoot apex to floral one. 1₂, 3₂, 5₂. Photograms of the same stages in development to 1, 3, 5 in diagram.

Plate XVIII. "Sapporo Yellow" (1970). Histological changes on irradiated bulb. Photograms of median longitudinal section through growing point and young leaves ylf₁-ylf₅. 1. Dosage 15,000 rad. one month after irradiation. 2. Dosage 7,000 rad. three months after irradiation.

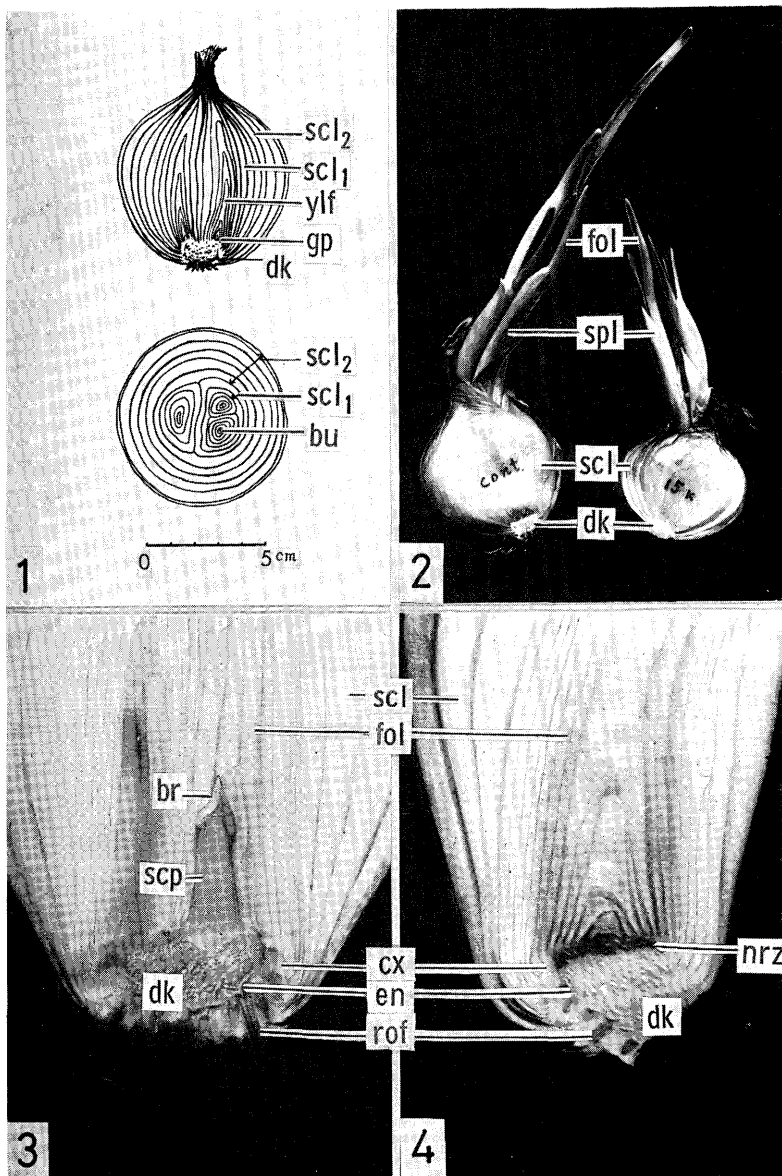
Plate XIX. "Sapporo Yellow" (1969, 1970). Photograms of highly magnified growing point changed by irradiation. 1-3. Irradiated growing point of stages in development corresponding to 1-3 of control and 4 corresponding to 5 in Pl. XVII. 1. One month after irradiation. 2-4. Three months after irradiation. (1, 3. Dosage 15,000 rad. 2, 4. Dosage 7,000 rad.)

□ C. A. Luer: **The native orchids of Florida** A4版 293 pp., 84 col. pls. 1972. The New York Botanical Garden. \$25.00. 米国フロリダ州に自生するラン科植物の全種類を豊富なカラー写真と生品による記述を中心にまとめた豪華本である。著者の本業は医者であるが1957年以来ランにとりつかれ多くの困難を冒してランを求めて歩き廻り、本書はその労苦の結晶である。英国で印刷されニューヨーク植物園から出版された。初めに序文とラン科全体の解説があり属への検索表がつけられ、属毎に章をあらためて45属が記述され種への検索表がある。百数種がふくまれ、日本産と関連の深い種もあり、*Platanthera* などでは新組合せも発表されている。各種毎にカラー写真と記載、花の線画、生育状態、分布図が記されている。何よりも大形のカラープレートが素晴らしく、生育の現状、全形、花序、花、根茎などを色々の角度からとった数枚の写真が組み合わされている。大きさを示すために人物や指が写しこまれているのが一寸目ざわりな気もする。どこでも開発が進むにつれ特にラン科植物はますます稀少になりつつあり、本書はきわめて貴重な資料として今後の研究に役立つであろう。

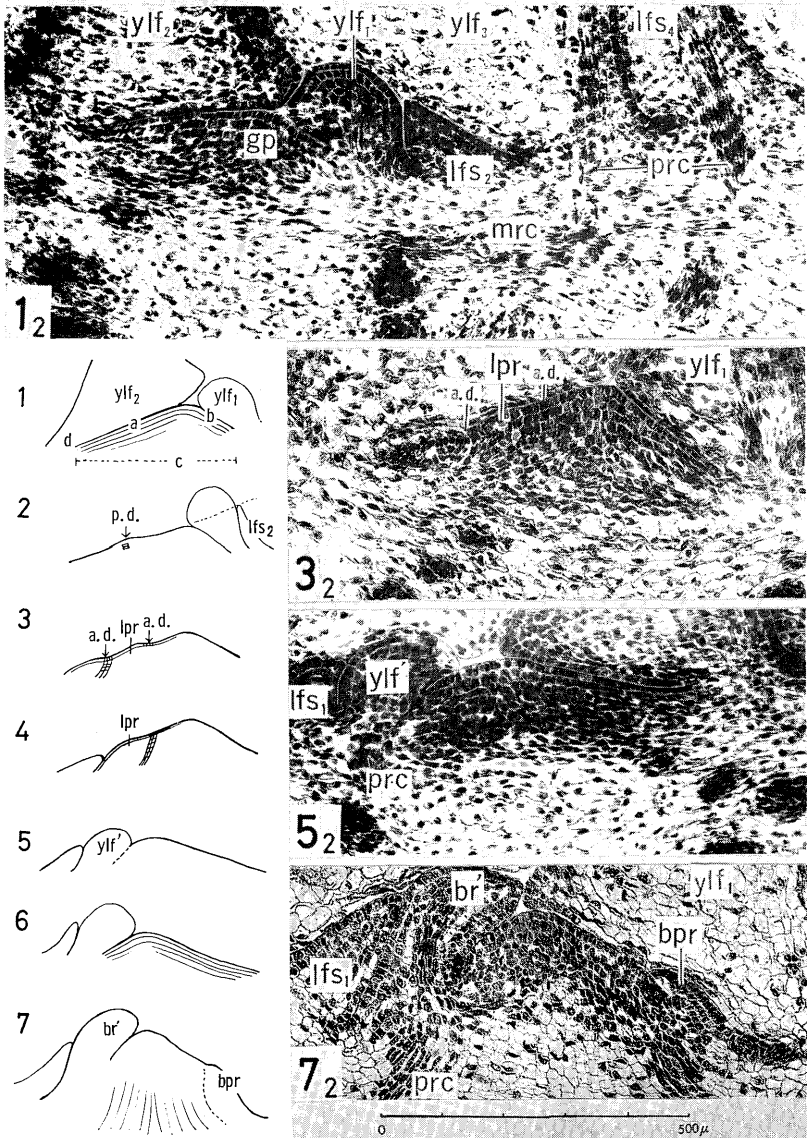
(原 寛)

□ 源豊宗・北村四郎解説 **花木真寫** 295ページ, 125図版 淡交社 48,000円 1973年8月。三巻の巻物であるのをやや縮めて印刷、各図に対して北村四郎氏が解説、終りに同氏のまとめた「植物学的解説」14頁、源豊宗、美術史より見たる「花木真寫」8頁、それに年譜、目次を添える。1725(享保10年)頃の作と思われるが、リンネに先立つ時点においてのこの潑刺たる筆致は驚嘆に値する。たとえばオドリコソウの精緻、アーティチョークの潑刺をみれば、一目でわかる。江戸時代、ことに応挙による近世写実主義が到来する前の一しきり盛り上がった写実主義への契機を受けとることができる。印刷はよいし、解説も「総記」を引用しながら述られており、ことに序説をみると、北村四郎氏が出版にかけた悲願は並々ではないことがよく知れる。このような稀観書の複製がなされるとは、日本は今どき、珍しい国であると自賛している次第である。

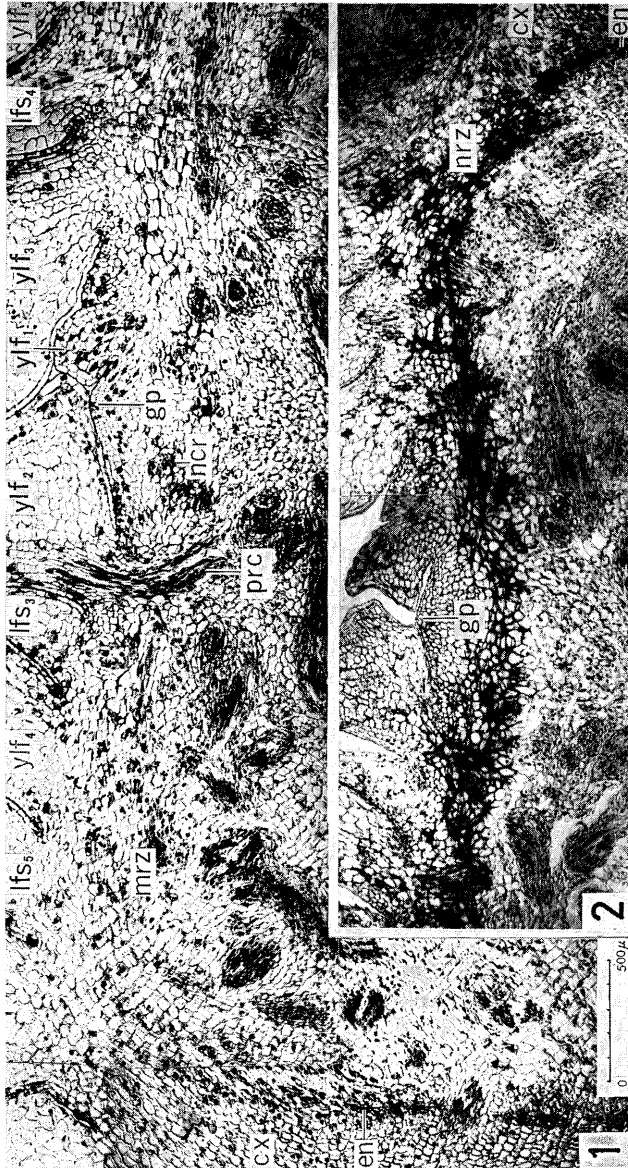
(前川文夫)



H. SHIMOMURA & E. KURIYAMA: Effects of ⁶⁰Co γ -rays



H. SHIMOMURA & E. KURIYAMA: Effects of ⁶⁰Co γ-rays



H. SHIMOMURA & E. KURIYAMA: Effects of ⁶⁰Co γ-rays