第 6 章　イネ科キビ属 *Panicum* sp. の栽培化過程と伝播

キビ Common millet (*Panicum miliaceum* L.) は新石器時代以降、おおよそ 8,500 年にわたってユーラシアの文明において最も重要な穀物であった。ユーラシアでは最も古い栽培植物の 1 種でもあるが、植物学的起原となった祖先種と地理的起源地について、いまだに明確にされていない。キビは北西インド亜大陸、ウクライナ、北中国などユーラシア大陸で伝統的に広く栽培され、さらにアフリカ、北米、オーストラリアなど世界各地で栽培されている。今日までも、各地で重要な食糧や飼料となっているほか、多様に利用されている。

日本では 70 年ほど前までは北海道ほか全国各地で経済的価値をもって相当量が栽培されていた。世界農林業センサス（1950 年）によると全国で栽培農家数 616,063 戸、栽培面積 27530.22 町歩であった（アメリカの施政下にあった沖縄は含まない)。

近年では著しく少なくなり遺存的に栽培されているのみである。しかしながら、最近、自然食や有機農業の見直しもあって、ほのかに栽培の増加が見られる。第 1 章で述べた C_4 植物であるキビはすぐれた耐乾性や早熟性などのゆえに半乾燥地や丘陵地域における有力な穀物としての特性を有しているので、今後、地球規模の砂漠化の進行や人口の急増に対応する重要な食糧資源としての再評価が必要である。

栽培植物の一次起原および地理的起源と伝播を研究する材料として、キビはいくつかの点ですぐれている。たとえば、在来性の高い系統（品種）がユーラシア各地で今日も栽培されている。祖先種あるいは逸出種と考えられる雑草性の高い種内変異群が新旧大陸で報告されている（Sholz and Mikolāš 1991)。キビ属の栽培種にはほかにサマイとサウイがあり、平行・多元的に栽培化の過程を比較できる。多くの野生種がアフリカ大陸、インド亜大陸および新大陸において食糧、飼料、薬用などに利用されている。

栽培植物の植物学的起原および地理学的起源を研究するには、植物学の研究手法を中心としながらも、民族学、考古学、言語学などのいくつかの研究手法を合わせ用いる必要がある（de Candolle 1883)。なぜならば、栽培植物の起原と伝播は過去 1 万年から未来へと続く植物と人類の共生関係への進化の歴史であり、栽培植物は野生植物とは明らかに異なるいくつかの植物学的形質を人為選択によって獲得しているからである。また、栽培・加工・調理に関わる技術や道具などと一緒に栽培植物は一つの農耕文化基本複合として伝播するので（中尾　1966)、文化人類学的なフィールド調査の手法も有効である。

この第 6 章の一連の研究では、キビのユーラシアにおける起原祖先種、栽培化過程および地理的起源地からの伝播を明瞭にするために、形態的および生態的特性から、遺伝的特性、種子の二次生体成分の分析までを実施した(Kimata and Negishi 2002、 Kimata et al. 2007)。国内外の調査によって、現地農家から分譲を受けた在来系統（品種）accessions （650 系統）および収集した腊葉標本を用いて、次の観察、調査や実験分

析を行った（Kimata 2016）。

その結果として、形態的・生態的特性、遺伝的特性（交雑稔性、雑種の分析、全核DNAの断片長多型AFLP （amplified fragment length polymorphism）、種子のフェノール呈色反応、ヨード・ヨードカリ呈色反応（モチ―ウルチ性）、脂肪酸組成、また併せて生物文化的多様性に関して、伝統的食文化、加工・調理と食味・栄養、考古学および言語学データを統合的に考察して、キビの植物学的起原、栽培化過程、地理的起源と伝播を明示することにした。すなわち、調査・研究の結論として、キビは中央アジア、特にアラル海から南西天山山脈の地域において、イヌキビ *P. miliaceum* subsp. *ruderale* の野生集団から新石器時代に栽培化され、遊牧民が東方へは中国、西方へはヨーロッパ、南方にはインド亜大陸、さらに北方へはシベリアに至るまで伝播したと考えられる。

6.1. 植物分類学上の位置づけ

イネ科キビ属 *Panicum* (Poaceae)はアフリカ、ユーラシアから新大陸にまで、約470種が分布している。キビ属植物はインド亜大陸でもアフリカでも、主にサバンナ地帯で広く野生種の穀物、飼料および薬用としての利用が見られる。これらの中で栽培化されたのは３種で、キビ *Panicum miliaceum* L. (common millet)、サマイ *P. sumatrense* Roth. (*samai*、 little millet)およびサウイ *P. sonorum* Beal. (*saui*、 panic grass)である。

キビは一年生草本で、一般に初夏に播種し、秋に収穫する。キビ栽培型の形態的変異は著しいが、草丈はおおよそ1～2m、分けつはあまりせず、植物体全体に毛が多い。総状花序は枝梗を分岐し、小穂は第３枝梗上に互生する。小穂は不稔花と稔実花からなり、穎花は１雌蕊と３雄蕊よりなり、一般に自家受精し、多様な倍数性をもつことに注意しておきたい。内外穎は滑らかで光沢があり、その色の変異は著しい。

Scholz and Mikolāš（1991）はキビを３亜種に分類している。（１）イヌキビ subsp. *ruderale*（Kitag.）Tzvelev はキビ subsp. *miliaceum* の逸出種で、種子は小さくて、脱粒性、疎らな円錐花序をもち、世界的に広く分布する雑草（2n=36(4x)、 ca. 36）である（図6.1.b4/d)。この雑草型はユーラシアの各地に生育が見られ、小粒の種子は全部脱落する。栽培型キビから逸出したと考えられているが、祖先種の可能性もある。（２）subsp. *agricolum* H. Scholz et Mikolāš は subsp. *miliaceum* から突然変異によってでき、栽培型とイヌキビとの中間的な特徴をもち、中央ヨーロッパに分布している（2n=ca. 36、36)。除草剤耐性で中部ヨーロッパのトウモロコシ畑によく生える（図6.1.b6)。（３）キビ subsp. *miliaceum* には栽培型（cultivar）と非栽培型（crop-like weedy biotype）がある（図 6.1.c1)。後者はオーストラリア、スロバキア、カナダで見られている。栽培型は倍数性が著しく、染色体数は2n=36(4x)、40、49、54(6x)、72(8x)の報告がある。トウモロコシ畑などで見られる擬態随伴雑草biotypeは内外穎の大きさや種子重によって形態的にも栽培型と区別され、前者は種子脱粒性が著しい。

従来、日本では穂型で次のように３分類されてきた（図6.1.a1/a2/a3)。穂が散開す

る平穂型 var. *effusum*、一方に片寄る寄穂型 var. *comtractum* および密生する密穂型 var. *compactum* であるが、穂型はユーラシア全体で比較すると連続的な変異である。日本の在来系統の穂型は大半が寄穂型、北海道の在来系統は平穂型で、密穂型はまったく見られない。

Lysov（1968、1975）によれば旧ソビエト連邦内のキビの穂型は著しく多様な地理的変異を示し、5群に分類される｛注：図6.18も参照｝。（１）miliaceum系統は花序の形態が野生種に似ている。（２）patentissimum 系統は細長くまばらな穂型を示すが（図6.1.a1)、（１）系統との区別が難しい。この２系統は東ヨーロッパから日本にまで分布している。（３）contractum 系統は密で垂れ下がる花序をもつ（図 6.1.a2)。（４）compactum系統は円柱状に直立する花序をもつ。（５）ovatum系統は密で、いくぶん湾曲した卵形の花序をもつ（図6.1.a3)。しかし、この分類群は必ずしも分類学的に妥当な系統群 races とは認識されていない。キビの種内分類は穂型など単一の形質だけでは困難であるので、いくつかの形質のマトリックスとして分類群を考える必要がある。Gerarde(1597)はキビが16世紀にはヨーロッパ各地で栽培、調理されており、花序の疎密で2型があることを示している（図6.1.e1/e2)。

サマイ *P. sumatrense* はインド亜大陸で、約2200 BCに、祖先亜種 *P. sumatrense* subsp. *psilopodium* から栽培化された(Weber 1992)。サウイ *P. sonorum* は北西メキシコで約600 BCに、*P. hirticaule* から栽培化された（Nabhan and de Wet 1984)。ちなみに今日でも、インド亜大陸において利用されているキビ属植物を表6.1に示した。一年生種と多年生種がともに食用や飼料にされていおり、これらは C_4 植物で、耐乾性が強く、早熟で、栄養含量が高い。

始めに述べたように、キビ属は栽培植物の起原を探求する研究材料として優れており、次に示す大変に興味深い6つの課題を有している。①キビはユーラシア大陸で栽培化されたもっとも古い雑穀の一つで、アワと同様に、新石器時代の中国やヨーロッパ各地の遺跡から出土している。②キビの祖先種は今のところ不明であるが、イヌキビはその祖先野生種の可能性が高い。③キビ属の栽培種には、他に南インド起原のサマイ、および新大陸メキシコ起原のサウイがある。④アフリカ大陸では多年生野生種 *P. turgidum* や *P. stragnium* などの穀粒が食用に供されている。⑤キビは日本を含む照葉樹林帯の焼畑の伝統的な輪作栽培体系に組み込まれることが少なく、どのような作付体系にあったのか明らかでない。⑥キビは、ロシアのアムール川流域から沿海州にかけて、紀元前3千年紀以降の遺跡から出土し（加藤1977)、北海道でも少なくとも擦文期の遺跡から出土しており（松谷1984)、日本へ北方経由で雑穀栽培を中心とした農耕文化が伝播した可能性がある。

表 6.1. インド亜大陸におけるキビ属 *Panicum* 野生種の利用

種名	染色体数	生活型	食用	飲料	飼料	薬用	土壌侵食防止
P. antidotale Retz.	2n=18	多年生				○	○
P. atrosanguineum Hochst.		一年生	○		○		
P. auritum Presl ex Nees					○		
P. austroasiaticum Ohwi					○		
P. brevifolium Linn.					○		
P. coloratum Linn.		多年生			○		○
P. hippothrix K. Schum.			○				
P. incomtum Trin.		多年生			○	○	
P. laevifolium Hack.		一年生			○		
P. maximum Jacq.	2n=18,36,48				○		
P. paludosum Roxb.			○		○		
P. psilopodium Trin.	2n=34,54	一年生		○	○		
P. repens Linn.	2n=40				○		○
P. trypheron Schult.			○		○		
P. turgidum Forsk.		多年生	○		○		
P. virgatum Linn.	2n=18,36,54,72,90,108				○		○

(Ambasta et al.、 1986)

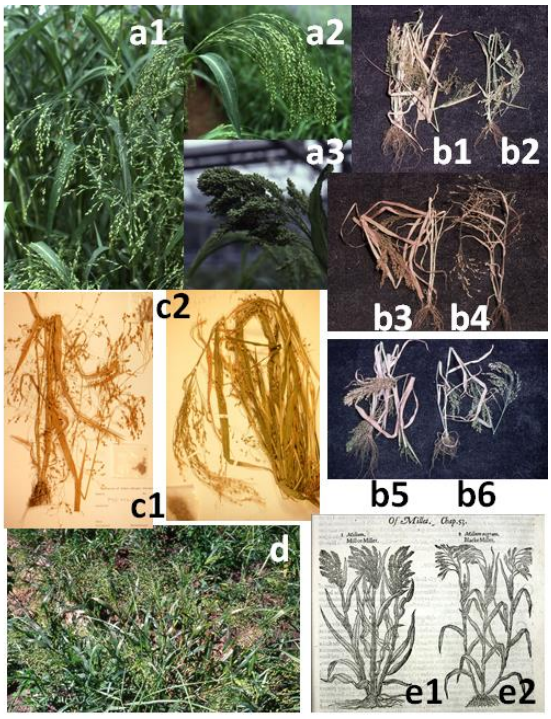


図 6.1.　キビの形態による分類

穂の３型；a1、 平穂型; a2、 寄穂型; a3、密穂型。中央アジアの栽培型と擬態雑草型；b1、 b3 および b5、 subsp. *miliaceum*; b2、 逸出雑草; b4 と d、 subsp. *ruderale*; および b6、 subsp. *agricolum*。 c1、 パキスタンの栽培型に類似した雑草性生物型、 c2、 subsp. *miliaceum* と subsp. *ruderale* の雑種第一代 F_1。e1 と e2、 17 世紀のヨーロッパのキビ(Gerarde 1597)。

6.2.　形態および生態から見た地理的変異

実験系統として東京学芸大学附属野外教育実習施設（現在は環境教育研究センターに改称）に収集・保存されていたキビを用いて研究を行った。しかしながら、これらを含む雑穀などの保存系統（約一万系統）は東日本大震災（2011）の被害により計画停電が実施されて低温保存が不能になり、また、放射性物質による汚染を避けるために、急遽、イギリスの王立植物園キューのミレニアム・シード・バンクに移管した。また、木俣が定年退職した際に、実験用の保存系統の一部（564 系統および野菜種子）を相模原市緑区藤野の市民団体（トランジション・タウン藤野、お百姓くらぶ）に移管したが（2014）、現在は東京農業大学に移動している（2021）。

1）実験方法

国内外で収集してきたキビ保存系統について、1982 年以来、順次、ほぼ同じ条件で栽培試験を行ってきた。1986 年には表 6.2 に示したように、最も多く 411 系統を同時に栽培した。栽培は次の条件下、台風の影響を避けるために、ガラス室内で行った。その後、最終的には合計 630 系統を栽培試験した。

{注：2016 年現在、http://www.milletimplic.net/collection/panicumdb1.pdf}

播種箱のパーライトに、5 ㎝ x 1 ㎝間隔で各系統の種子 10 粒を播種した（原則として 7 月 10 日）。10 日後に、発芽調査をして、栽培ベッドに各系統 5 個体を 15 ㎝ x 14 ㎝間隔で定植した。元肥として土壌面積 1 ㎡当たり化成肥料燐硝安カリ 50g、1 か月後に追肥として同じく 22ｇを施した。各系統 5 個体について、開花日、最上節間の有毛性、分けつ数、出葉数、穂型、草丈、葉縁色、小穂柄色、護穎色、雌蕊色、および内外穎のフェノール呈色反応、合計 11 形質については生体において観察あるいは測定した。止葉長・幅、最上節間長、小穂数、穎果長・幅、千粒重、穎果色、および内乳デンプンのヨード・ヨードカリ呈色反応、合計 10 形質については腊葉と種子標本で測定した。データ整理した後、順次、データベース化して、統計処理用に準備した。なお、各試験系統の 5 個体を証拠腊葉標本として、山梨県小菅村にある植物と人々の博物館に収蔵してある。

表 6.2.　実験供試材料

地域	地方品種系統数	収集地または分譲機関 （系統数）
日本	132	
北海道	16	Hidaka (13); Hiyama (1); Iburi (1); Abashiri (1)
本州	57	Iwate (2); Niigata (1); Ishikawa (1); Nagano (8); Yamanashi (8); Tokyo (2); Kanagawa (3); Mie (2); Gifu (1); Nara (26); Okayama (2); other (1)
四国	30	Tokushima (10); Khochi (13); Ehime (7)
九州	9	Saga (2); Nagasaki (2); Kumamoto (3); Miyazaki (1); Kagoshima (1)
沖縄	20	Okinawa (1); Ikema (1); Ogami (1); Taketomi (2); Irabu (2); Tarama (2); Hateruma (2); Ishigaki (9)
東アジア	39	
Korea	23	kangwon-do (1); Kyongsangnam-do (1); Chollanam-do (2); Chungchongbuk-do (3); Chungchongnam-do (2); Kyongsangbuk-do (4); National Institute of Agricultural Science, Japan (10)
China	10	Akad. Wissenshaft, DDR (5); National Institute of Agricultural Science, Japan (1); Others (4)
Mongolia	6	National Institute of Agricultural Science, Japan (2); N. I. Vavilov All-Union Institute of Plant Industry, former USSR (1); Others (3)
旧ソビエト連邦	78	
Central Asia	12	N. I. Vavilov All-Union Institute of Plant Industry, former USSR (Kazakh 7, Tadzhik 2, Uzubeck 1, Azerbaizan 1, Kirgiz 1)
Others	66	National Institute of Agricultural Science, Japan (4); N. I. Vavilov All-Union Institute of Plant Industry, former USSR (Ukraina 14, Privorskaya Province 8, Georgion 1, Tiva 1, Altai Teritory 1, Buelovussia 1, Buryat 5, Tatar 2, Others 29
南アジア	90	
Bangradesh	2	
Nepal	20	
India	68	Karnataka (1); Tamil Nadu (3); University of Agricultural Sciences, India (50); Regional Research Station, Payur, Tamil Nadu (7); Andhra Pradesh Agriculture University (1); Regional Agriculture Research Station, Nandyal (Uttar Pradesh 2, Tamil Nadu 2, Bihar 1, Andhra Pradesh 1)
西アジア	26	
Pakistan	7	
Afganistan	17	Kabul (3); Takhar (4); Badhakshan (7); Jabalsalaj-Zenja (1); N. I. Vavilov All-Union Institute of Plant Industry, former USSR (2)
Turkey	2	
ヨーロッパ	43	
Belgium	1	Dienst Voor Rarken En Plantsonen, Antwerpen
Bulgaria	1	
Czechoslovakia	2	Institute of Genetics and Plant Breeding, Prague-Rilzyne
France	3	N. I. Vavilov All-Union Institute of Plant Industry, former USSR (1); Others (2)
Germany	22	Akad. Wissenshsft, DDR (21); Other (1)
Greece	1	
Poland	1	N. I. Vavilov All-Union Institute of Plant Industry, former USSR (1)
Romania	10	Inst. Agr., Cluj-Napoca (5); Others (5)
Spain	1	
Yugoslavia	1	N. I. Vavilov All-Union Institute of Plant Industry, former USSR (1)
アフリカ	2	Morocco (1); Kenya (1)
北アメリカ	1	N. I. Vavilov All-Union Institute of Plant Industry, former USSR (Canada 1)
合計	411	

2）日本北海道のキビの変異

本章に関わる調査研究の発端については身近なことから記述を始めたいと思う。阪本寧男によって、植物の栽培化過程の研究に教唆、誘導され、人生の大半をこれに費やした。上述してきたように、とても大きな研究課題で、多年生草本から一年生草本がどのように進化してきたか、栽培化はどのような過程で進んだのか、研究対象とした植物は個別課題の解明に対応して、主なものだけでも数属数 10 種に及んだ。本章で記述するキビはユーラシアにおける一次起源のとても古い栽培植物でありながら、祖先種さえ明確にされていない。

今にして思えば、祖父の田舎、濃尾平野の木曽川の辺、米（イネ）どころ、その輪中にある岐阜羽島の八神から、毎年末に正月用にと送られてきたのは白餅（イネ）と黄餅（キビ）であった。すでに幼少の頃からキビに縁があったということだ。

雑穀の野外調査は関東山地、山梨県上野原の西原で、1974 年から始めたけれども、次に調査に向かったのは北海道日高地方であった。詳細は『日本雑穀のむら』第 1 章に記すが、先住民族アイヌの人々が大切に継承してきた雑穀の一つにキビがあり、雑穀を含む農耕文化が日本に北方より伝播したことを、分譲を受けたキビの系統分析から明確にすることを具体的な課題にした。

北海道の野外調査は第 1 期 1981 年から 1984 年、第 2 期 1995 年から 1997 年にかけて実施した（木俣ら 1986、1995、1996、1997）。第 1 期の雑穀栽培調査のルートと種子収集地を図 6.2 に示した。北海道の各地で聞き取り調査を行ったが、雑穀に関してはアイヌ民族の人々が今日も居住している沙流川周辺地域のみで残存栽培が多く見られた。キビは現地農家から合計で 16 系統の分譲を受けることができた。他の地域では渡島半島で 1 系統、知床半島の斜里町で 1 系統が小規模に栽培されていたにすぎなかった。

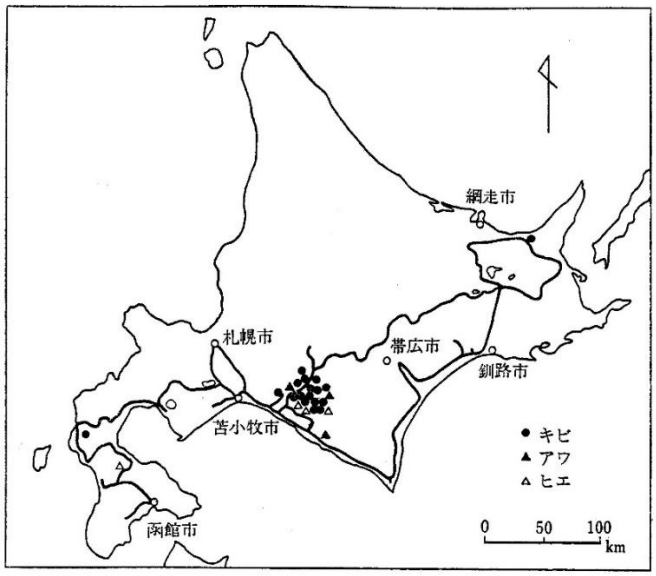


図 6.2. 北海道の調査ルートと雑穀の残存分布（1981～1984）

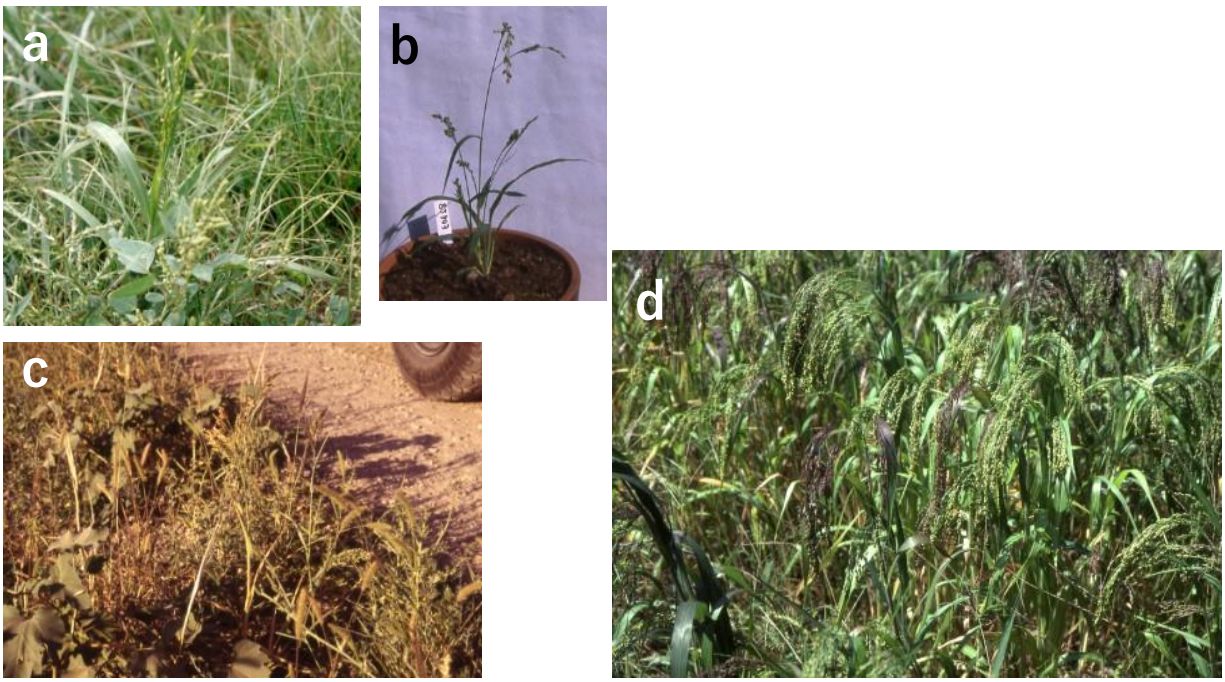


図 6.3.　キビの野生型と栽培型

a；内モンゴルの野生型亜種イヌキビ、b；北海道長知内の在来栽培 C 型（東京で栽培）、c;ウズベキスタンの路傍に逸出した栽培型、d;北海道穂別町のキビ畑、在来系統（紫色穂）と本州から導入系統（緑色穂）を混播していた。

沙流郡平取町で分譲を受けたキビ 14 系統について、22 形質の変異を調査した結果のまとめを表 6.3 に示した。特に 7 形質（出穂日数、分けつ数、小穂数／穂長比、種子千粒重、穎果色、護穎色、最上節間の有毛性）の組み合わせによって、8 類型に分類した（木俣ら 1986)。これらのうち系統数の多い A 型と B 型は典型的な在来系統（品種）の特徴を今日も示していると考えられる。東京で栽培した場合、早生で分けつ数が少ない、小穂数／穂長比が低い、種子千粒重が比較的重い、穎果が暗褐色、護穎が赤紫色、最上節間が多毛、などの特徴が見られた（図 6.3. b／d)。他の系統は本州から明治期以降に導入された系統のうちで、日高地方の環境に適合して今日まで栽培されてきた系統、およびこれに在来系統が栽培下で自然交雑し、結果的に若干の人為選択を受けた系統と考えられる（図 6.3.d)。これらは多様な変異の組み合わせを示すが、主な特徴は晩生、穎果が橙色、護穎が緑色、最上節間に毛が無いなどである。また、平取町の立花登さんには北陸、関東および北海道の各 1 系統を比較栽培（1984 年）していただいたところ、草丈が十分に伸長していた点では異なっているが、護穎が赤紫色、最上節間が多毛などの特徴は東京での栽培結果と同じであり、これらは安定的な形質特性であると言える。

また、穂型については、穂の先端で小穂が密になり片方に傾く寄穂型が 8 系統、小穂は疎らで散開する平穂型 4 系統、および小穂は密につき穂が直立する密穂型に近い 2 系

統もあった。種子内乳デンプンはヨード・ヨードカリ呈色反応によると、14 系統すべてがぶどう色を示し、モチ性とウルチ性の中間的な性状を示した。この中間的な性状にはキビにおける多様な倍数性が関与しているのではないかと仮設した。

表 6.3. 北海道沙流郡平取町ほかで栽培されていたキビの特性

（東京で栽培試験）

型	A	B	C	D	E	F	G	H
形質								
出穂日数	早生	早生	早生	早生	中生	中生	晩生	晩生
分けつ数	少ない	少ない	多い	少ない	少ない	少ない	多い	少ない
小穂数／穂長比	少ない	少ない	少ない	少ない	多い	少ない	多い	多い
千粒重	中間	重い	中間	軽い	軽い	中間	軽い	軽い
穎果の色	暗褐	暗褐	暗褐	暗褐	暗褐	橙	暗褐	橙
護穎の色	赤紫	赤紫	赤紫	緑	緑	緑	緑	赤紫
穂首の有毛性	有毛	多毛	多毛	有毛	多毛	有毛	無毛	有毛
系統数	6	2	1	1	1	1	1	1

3）ユーラシアにおける地理的変異の傾向

ユーラシアにおけるキビの地理的変異の特徴を表 6.4 でまずは概観してみよう（木俣ら　1986）。日本の北海道 14 系統と本州以南 19 系統、東・南アジア 4 系統、西・中央アジア 7 系統、およびヨーロッパ 6 系統（合計 50 系統、1982 年試験）の 5 地域を比較すると、日本の北海道の在来系統とヨーロッパの系統は提示した 10 形質のうちの 7 形質（開花日、出葉数、草丈、分けつ数、小穂数、内外穎色、最上節間の有毛性）において特に類似していた。また、西・中央アジアの系統は幅広い変異を示しており、ヨーロッパの系統の変異はその範囲内に収まっていた（木俣ら 1986、木俣 1988）。

日本の系統をみると、北海道の在来系統では中国北部、モンゴルの系統と穂型や開花までの日数などに類似が見られる。この点から、北海道の在来系統はアイヌ民族の人々が伝統的に栽培を継承してきた系統であり、シベリア経由で北海道に直接伝播してきた可能性を示唆している。一方、日本の本州以南の系統では柱頭の色や穂型などに関して韓国からネパールの系統と著しく類似していた。旧ソビエト連邦とヨーロッパの品種では穎果の色の高い変異性、穂型などの変異の傾向が類似していた。インド、西アジアの系統は多くの形質において幅広い変異性を示していた。キビでは多分けつ性で疎らな穂をもち、種子脱粒性の高い系統がより祖先種に近いと考えられるが、インドやパキスタンから中央アジアの系統にはこのような形質が認められた。キビの随伴擬態雑草の報告は少ないが、種子脱粒性の高い系統がパキスタンやウズベキスタンにおいて認められている（図 6.1）。

表 6.4.　キビの地理的変異の概要

地域	日本		東・南アジア	西・中央アジア	ヨーロッパ
	北海道	本州以南			
形質					
出穂日数	早生	中・晩生	中・晩生	中・晩生	中生
出葉数	少ない	中～多	中間	少～中	少ない
草丈	短い	中～長	中～長	中～長	短い
分けつ数	少ない	中間	中間	少～多	少ない
小穂数	少ない	中～多	中間	少～中	少ない
千粒重	軽～重	軽～やや軽	やや重	やや重	軽～やや重
穎果の色	暗褐が多い	暗褐、橙、白	暗褐、橙、白	橙、白	白が多い
護穎の色	赤紫（緑）	緑	緑	赤紫、緑	赤紫
穂首の有毛性	有毛	無毛	無毛	有毛	多毛
内乳デンプン	モチ中間	モチ（ウルチ）	モチ・ウルチ	ウルチ	ウルチ

キビは出穂が不揃いであり、出穂の 4～5 日前から開花を始めるので、キビに関しては出穂日ではなく開花日を調査して、表 6.5 に示した。全系統を概観すると高緯度地域で収集された系統ほど、開花までの日数が短い傾向にあるが、変異の幅は広く、この傾向から外れる系統も少なくなかった。すなわち、東京で栽培した場合、中国、モンゴル、旧ソビエト連邦、ヨーロッパおよび日本の北海道（在来）の系統は開花までの日数が短く、インドおよび日本の九州・南西諸島の系統のうちの多くは開花までの日数が長い。

開花日の早晩性と強い相関があると考えられる主稈の出葉数は表 6.6 に示した。韓国と日本の本州以南の系統は、出葉数が著しく多いが、中国、モンゴル、旧ソビエト連邦、ヨーロッパおよび日本の北海道の系統の出葉数は少ない。

表 6.5.　播種（1986 年 7 月 10 日）から開花までの日数の変異

地域	合計	在来系統数(%)						
		20-30	-40	-50	-60	-70	-80	n/a
日本								
北海道	16		13(81.3)	1(6.3)	1(6.3)	1(6.3)		
本州	57			6(12.0)	32(64.0)	12(24.0)		7
四国	30				16(61.5)	10(38.5)		4
九州	9					7(100)		2
沖縄	20				4(22.2)	8(44.4)	6(33.3)	2
東アジア								
Korea	23				14(66.7)	7(33.3)		2
China	10	2(20.0)	6(60.0)	2(20.0)				
Mongolia	6		2		1			3
南アジア								
Nepal	20			1(7.7)	12(92.3)			7
Bangladesh	2				2			
India	68			16(25.8)	22(35.5)	6(9.7)	18(29.0)	6
西アジア	26		2(7.7)	21(80.8)	3(11.5)			
旧ソビエト連邦								
Central Asia	12	4(33.3)	7(58.3)	1(8.3)				
Others	66	15(23.1)	45(69.2)	5(7.7)				1
ヨーロッパ	43	3(7.5)	33(82.5)	4(10.0)				3
アフリカ	2				1			1
北アメリカ	1		1					
合計	411	24(6.4)	109(29.2)	57(15.3)	108(29.0)	51(13.7)	24(6.4)	38

表 6.6. 主稈に出葉数の変異

地域	在来系統数（%）				
	5-7	8-10	11-13	14-16	n/a
日本					
北海道	10(62.5)	3(18.8)	2(12.5)	1(6.3)	
本州		5(9.8)	21(41.2)	25(49.0)	6
四国			9(33.3)	18(66.7)	3
九州			1(12.5)	7(87.5)	1
沖縄				18(100)	2
東アジア					
Korea			8(38.1)	13(61.9)	2
China	6(60.0)	2(20.0)	2(20.0)		
Mongolia	2		1		3
南アジア					
Nepal			12(92.3)	1(7.7)	7
Bangladesh			2		
India		9(21.4)	30(71.4)	3(7.1)	26
西アジア		6(23.1)	19(73.1)	1(3.8)	
旧ソビエト連邦					
Central Asia	9(75.0)	3(25.0)			
Others	33(50.8)	32(49.2)			1
ヨーロッパ	12(30.0)	24(60.0)	4(10.0)		3
アフリカ			1		1
北アメリカ	1				
合計	73(20.5)	84(23.6)	112(31.5)	87(24.4)	55

キビは表 6.7 に示したように、一般に分けつ性が低い植物で、日本、東アジア、ネパールの系統ではほとんど分けつしていない。一方、インド、西アジア、旧ソビエト連邦、ヨーロッパの系統には分けつ性の著しく多い系統もあった。栽培化過程は分けつ数の減少、穂の増大方向に人為選択を働かせたとするのならば、野生型に近いのは分けつ数の多い系統とする仮設が考えられる。

キビは植物体全体に毛が多いが、最上節間（穂首）の有毛性については表 6.8 に示したように変異が大きく、無毛、有毛、および多毛の 3 タイプに分類できた。大半の系統は無毛であったが、日本北海道の在来系統、中国、南アジア、西アジア、およびヨーロッパの系統では有毛・多毛の系統が多かった。

表 6.7.　有効分けつ数の変異

地域	在来系統数(%)					
	1.0-2.0	2.1-3.0	3.1-4.0	4.1-6.0	6.1-9.0	n/a
日本						
北海道	8(50.0)	8(50.0)				
本州	50(98.0)	1(2.0)				6
四国	26(96.3)	1(3.7)				3
九州	7(87.5)	1(12.5)				1
沖縄	16(88.9)	2(11.1)				2
東アジア						
Korea	16(76.2)	5(23.8)				2
China	4(40.0)	2(20.0)		4(40.0)		
Mongolia	2	1				3
南アジア						
Nepal	9(64.3)	5(35.7)				6
Bangladesh				2		
India	8(13.8)	12(20.7)	17(29.3)	17(29.3)	4(6.9)	10
西アジア	5(20.0)	9(36.0)	9(36.0)	2(8.0)		1
旧ソビエト連邦						
Central Asia	3(25.0)	4(33.3)	5(41.7)			
Others	13(20.0)	29(44.6)	18(27.7)	5(7.7)		1
ヨーロッパ	6(15.0)	14(35.0)	12(30.0)	8(20.0)		3
アフリカ		1				1
北アメリカ			1			
合計	173(46.5)	95(25.5)	62(16.7)	38(10.2)	4(1.1)	39

キビは穂型によって 3 変種に分類され、それぞれ平穂型 *P. miliaceum* var. *effusam* Al.、寄穂型 var. *contractum* Al.、および密穂型 var. *compactum* Koke に対応している。表 6.9 に示したように、平穂型は日本では北海道の在来系統にのみ認められた。中国、モンゴル、インド、西アジア、旧ソビエト連邦およびヨーロッパの系統の多くは平穂型であった。日本、韓国、ネパールの多くの系統は寄穂型であった。密穂型は西アジア、旧ソビエト連邦およびヨーロッパの系統において少数のみ認められた。

完熟した内外穎の色については表 6.10 に示した。内外穎の色については、次のように改めて表記を統一した(財団法人日本色彩研究所 1981)。内外穎の色は暗褐色 maroon、褐色 deep brown、薄茶色 topaz、橙色 marigold、象牙色 ivory、白色 white、および灰緑色 grayish green の 7 色に大きく分類できた。旧ソビエト連邦とヨーロッパの系統は幅広い変異を示したが、中国と日本北海道の系統は暗褐色、日本本州以南の系統は褐色ないし白色、南アジアの系統では灰緑色の系統が多く認められた。

柱頭色は表 6.11 に示したように、白色、薄紫色、赤紫色に 3 タイプに分類できる。全供試系統のうちで、約 63%は白色ないし薄紫色であったが、日本北海道、ネパールを除いたインド亜大陸、西アジアの系統は 60%以上が赤紫色であった。これらに次いで、中国、モンゴル、旧ソビエト連邦、およびヨーロッパの系統も赤紫色の柱頭をもつ系統が比較的多かった。

表 6.8.　最上節間の有毛性の変異

地域	在来系統数(%)			
	無毛	有毛	多毛	n/a
日本				
北海道	3(20.0)	6(40.0)	6(40.0)	1
本州	40(76.9)	12(23.1)		5
四国	26(96.3)	1(3.7)		3
九州	3(37.5)	5(62.5)		1
沖縄	18(100)			2
東アジア				
Korea	16(76.2)	4(19.0)	1(4.8)	2
China	5(50.0)	4(40.0)	1(10.0)	
Mongolia	2	1		3
南アジア				
Nepal	2(14.3)	12(85.7)		6
Bangladesh		2		
India	16(27.6)	35(60.3)	7(12.1)	
西アジア	2(8.7)	15(65.2)	6(26.1)	3
旧ソビエト連邦				
Central Asia	12(100)			
Others	57(87.7)	6(9.3)	2(3.0)	1
ヨーロッパ	17(42.5)	15(37.5)	8(20.0)	3
アフリカ		1		1
北アメリカ	**1**			
合計	**220(59.4)**	**119(32.2)**	**31(8.4)**	**41**

表 6.9.　穂型の変異

地域	在来系統数 (%)			
	平穂型	寄穂型	密穂型	n/a
日本				
北海道	11(78.6)	3(21.4)		2
本州		52(100)		5
四国		30(100)		
九州		9(100)		
沖縄		19(100)		1
東アジア				
Korea	1(4.5)	21(95.5)		1
China	8(88.9)	1(11.1)		1
Mongolia	3			3
南アジア				
Nepal		16(100)		4
Bangladesh	2			
India	64(100)			4
西アジア	21(80.8)	4(15.4)	1(3.8)	
旧ソビエト連邦				
Central Asia	9(75.0)	2(16.7)	1(8.3)	
Others	56(88.9)	1(1.6)	6(9.5)	3
ヨーロッパ	35(87.5)	4(10.0)	1(2.5)	3
アフリカ	1	1		
北アメリカ	**1**			
合計	212(55.2)	163(42.4)	9(2.3)	27

1) sparse type, Flatterhirse, *Panicum miliaceum* var.
2) dense type, Klumphirse, var. contractum Al.;
3) compact type, Dickhirse, var. *compactum* Kcke.

表 6.10.　内外穎の色の変異

地域	在来系統数(%)						
	暗褐色	褐色	薄茶色	象牙色	橙色	灰緑色	n/a
日本							
北海道	13(81.2)	2(12.5)	1(6.3)				
本州	6(11.3)	2(3.8)	16(30.2)	27(50.9)	2(3.8)		4
四国	5(17.9)	1(3.6)	16(57.1)	4(14.3)	2(7.1)		2
九州			8(88.9)	1(11.1)			
沖縄	3(15.8)	6(31.6)	2(10.5)	8(42.1)			1
東アジア							
Korea	5(22.7)		3(13.6)	11(50.0)	3(13.6)		1
China	6(60.0)		1(10.0)	2(20.0)	1(10.0)		
Mongolia	1	1		1			3
南アジア	1(1.1)		42(47.2)	14(15.7)		32(36.0)	1
Nepal			10(52.6)	8(42.1)		1(5.3)	1
Bangladesh	1		1				
India			31(45.6)	6(8.8)		31(45.6)	
西アジア			23(88.5)	3(11.5)			
旧ソビエト連邦							
Central Asia	1(8.3)	3(25.0)	4(33.3)	4(33.3)			
Others	3(4.5)	17(25.8)	25(37.9)	9(13.6)	3(4.5)	9(13.6)	
ヨーロッパ	2(4.8)	4(9.5)	15(35.7)	12(28.6)	3(7.1)	6(14.3)	1
アフリカ			1	1			
北アメリカ						1	
合計	46(11.6)	36(9.0)	157(39.4)	97(24.4)	14(3.5)	48(12.1)	13

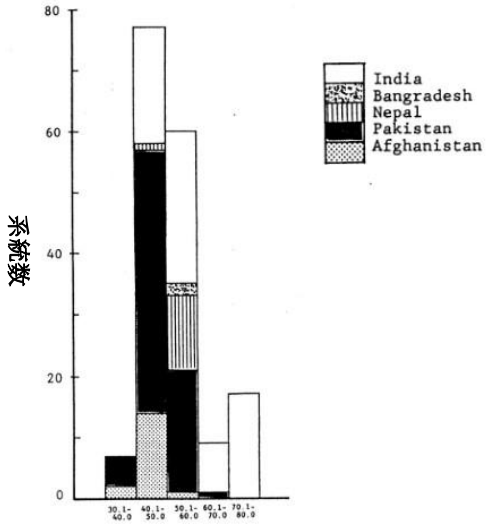
表 6. 11.　柱頭色の変異

地域	在来系統数(%)			
	白色	薄紫色	赤紫色	n/a
日本				
北海道	3(18.8)	1(6.2)	12(75.0)	
本州	14(27.4)	36(70.6)	1(2.0)	6
四国	8(29.6)	19(70.4)		3
九州	3(42.9)	4(57.1)		2
沖縄	5(27.8)	13(72.2)		2
東アジア				
Korea	2(10.0)	16(80.0)	2(10.0)	3
China	6(60.0)	3(30.0)	1(10.0)	
Mongolia	1		2	3
南アジア				
Nepal	14(100)			6
Bangladesh		1	1	
India	3(4.8)	6(9.7)	53(85.5)	6
西アジア	1(3.8)	6(23.1)	19(73.1)	
旧ソビエト連邦				
Central Asia	4(36.4)	6(54.5)	1(9.1)	1
Others	25(39.7)	28(44.4)	10(15.9)	3
ヨーロッパ	15(38.5)	13(33.3)	11(28.2)	4
アフリカ	1			1
北アメリカ	1			
合計	106(28.6)	152(41.0)	113(30.4)	40

4) 南アジアにおける地理的変異

キビは地理的起源地である中央アジアから南下してインド亜大陸に伝播したと仮設して、南アジアで収集した系統の外部形態の地理的変異を明らかにするために試験栽培を行った。用いた実験系統はアフガニスタン 17 系統、パキスタン 72 系統、インド 78 系統、ネパール 20 系統、およびバングラデシュ 2 系統、合計 189 系統であった。

開花までの日数の変異は図 6.5 に示した。アフガニスタンとパキスタンの系統には早生が多いが、インドの系統の変異は幅広く、晩生も比較的多い。収集地の緯度と日長反応との関係が考えられるが、必ずしもこの関係に沿わない系統もある。主稈葉数の変異については図 6.6 に示した。パキスタンとインドの系統の変異が著しかった。



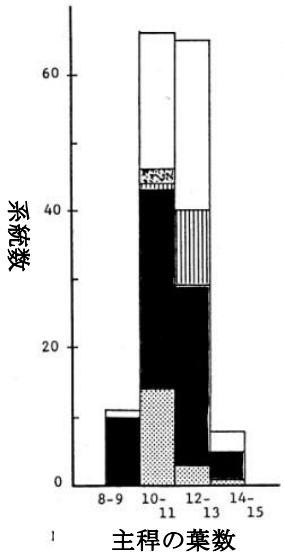
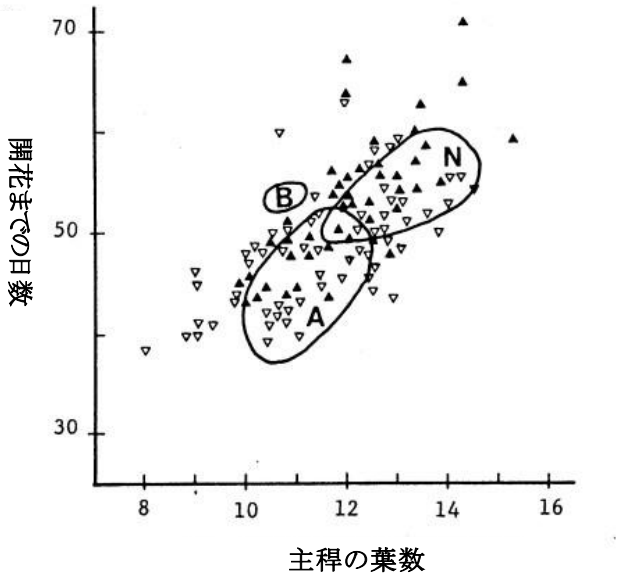


図 6.5.　南アジアのキビの開花までの日数の変異

図 6.6.　主稈葉数の変異

図 6.7 によれば、開花までの日数と主稈葉数の相関係数の高さから見て（r ＝0.916**、表 6.24 参照）、インドの系統（▲）は晩生へ、パキスタンの系統（▽）は早生へと系統分化している傾向が認められた。ネパールの系統は晩生、アフガニスタンの系統は早生、バングラデシュの系統はそれらの中間に位置していた。

有効分けつ数については、図 6.8 に示した。パキスタンとネパールの系統は比較的分けつ数が少ないが（1～4）、インドの系統は非常に幅広い変異を示した（1～9）。



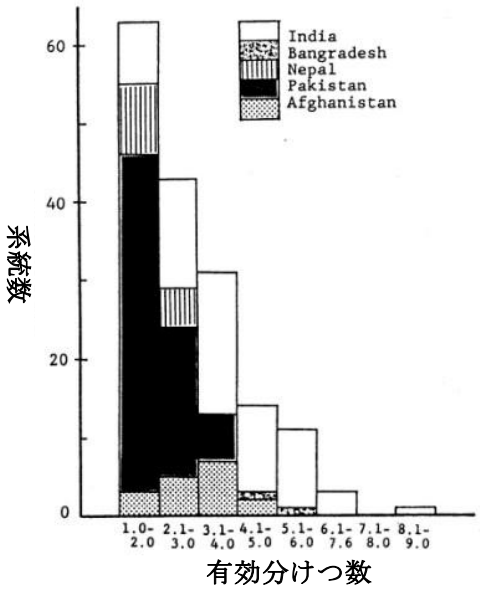


図 6.7.　開花までの日数と主稈葉数の相関

図 6.8.　有効分けつ数の変異

草丈の変異については図 6.9 に示した。パキスタンとインドの系統は草丈の変異が著しく、パキスタンの系統は低い側に、インドの系統は高い側に偏った変異傾向を示していた。ネパールの系統はすべて草丈が高かった。有効分けつ数と草丈との相関関係は図 6.10 に示した。相関については明瞭ではなかったが（r=-0.203、表 6.24 参照)、パキスタンの系統では分けつ数が少なくかつ草丈が低い系統、ネパールの系統では分けつ数が少なく、草丈の高い系統があった。インドの系統は中間の草丈で、多分けつ性の系統の分化が認められた。アフガニスタンの系統は中間で変異を広げており、バングラデシュの系統は草丈が低く、分けつ数は多かった。

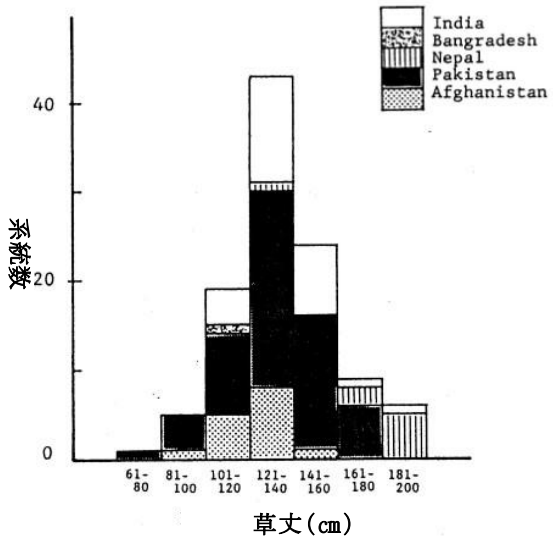


図 6.9.　草丈の変異

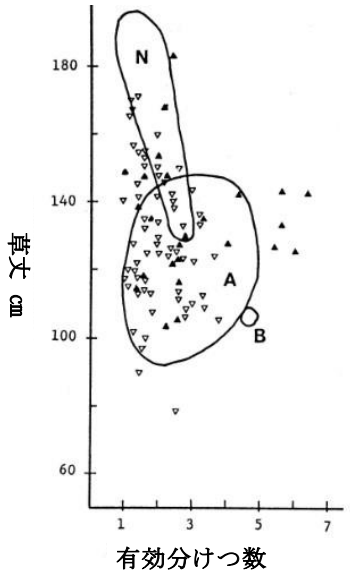


図 6.10.　草丈と有効分けつ数の相関

主稈の小穂数については図 6.11 に示した。この小穂数の変異はすべての地域の系統で著しかった。しかし、種子の脱粒性を示す系統および多分けつ性の系統では主稈の穂当たりの小穂数が少ない傾向が認められた。主稈の穂長当たりの小穂数比（NS/PL）については図 6.12 に示した。パキスタンの系統は最も著しい変異の幅を示した。この比が低い系統は多分けつ性の平穂型と脱粒性の強い系統であった。一方、この比が高い系統は当然ながら密穂型であった。中間の系統は寄穂型的な形質をもつ平穂型であった。

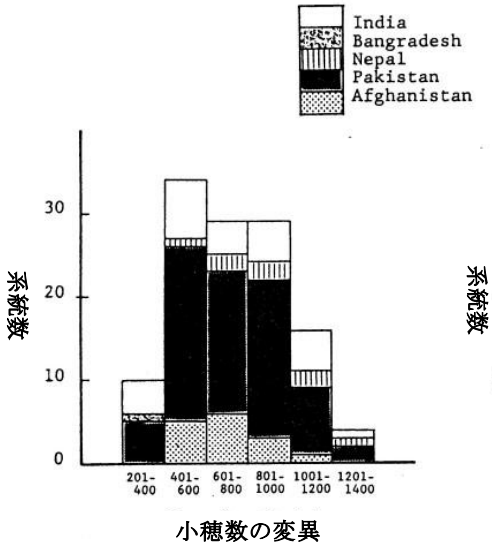


図 6.11.　主稈の小穂数の変異

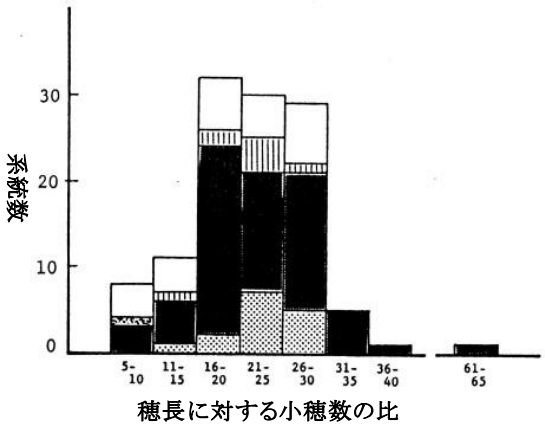


図 6.12.　穂長に対する小穂数の比

穂長と小穂数との関係を図 6.13 に示した。アフガニスタンとネパールの系統も変異に範囲が広いが、アフガニスタンの系統のほうがネパールの系統よりも穂が短く、小穂数が若干少ない。バングラデシュの系統は穂が短く、小穂数も少ない。脱粒性および分けつ性の高い系統は図の左下に、典型的な密穂型は左上に分布している。品種改良が進んだ系統は図の上に、まだプリミティブな系統は下に分布していると言える。

止葉の長さに対する幅の比（L/W）については図 6.14 に示した。パキスタンの系統は止葉の幅が広い系統は比較的多くあったが、アフガニスタンやネパールの系統は中間の比を示す系統が多い。パキスタンとインドの系統は広い変異の幅を示したが、とりわけインドの系統の中で分けつ性の著しい系統は止葉の幅が狭かった。

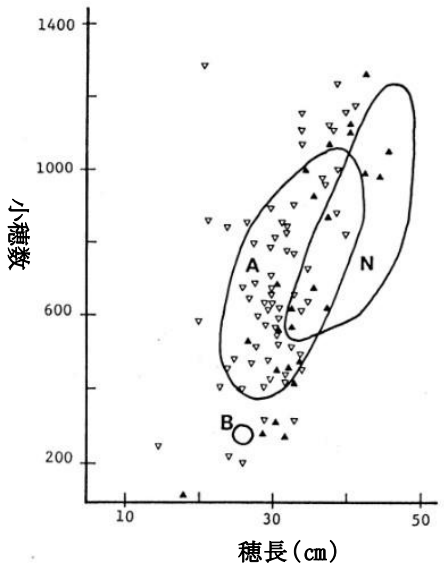


図 6.13.　穂長と主稈の小穂数との関係

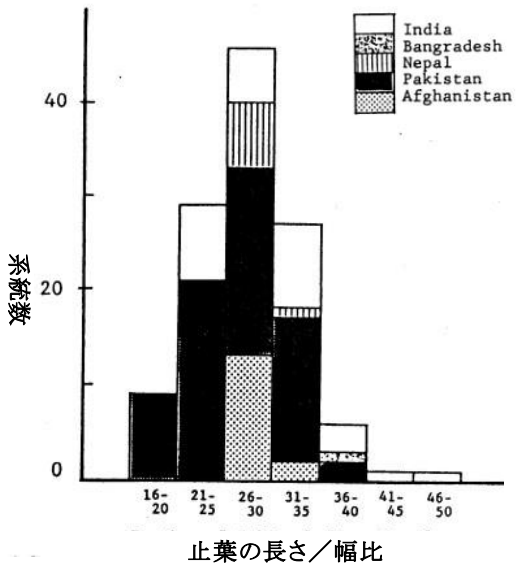


図 6.14.　止葉の長さに対する幅の比

最上節間の有毛性については表 6.12 に示した。東アジアの系統に比べると、全般的に南アジアの系統は毛が多い。とりわけ、パキスタンの系統は変異の幅が著しく、かつ多毛の系統が多い。インドの系統の約 20%、パキスタンの系統の約 13%およびネパールの系統の約 10%が無毛である点にも注意しておきたい。

表 6.12. 最上節間の有毛性の変異

地域	系統数	無毛	有毛	多毛	著しく多毛	n/a
		系統数(%)	系統数(%)	系統数(%)	系統数(%)	系統数(%)
Afghanistan	17	1(5.9)	11(64.7)	5(29.4)		0
Pakistan	72	9(12.5)	7(9.7)	41(57.0)	9(12.5)	6(8.3)
India	78	15(19.2)	41(52.6)	6(7.7)	3(3.8)	13(16.7)
Nepal	20	2(10.0)	8(40.0)	4(20.0)		6(8.3)
Bangladesh	2		1(50.0)	1(50.0)		0
合計	189	7(14.3)	68(36.0)	57(30.2)	12(6.3)	25(13.2)

穂長に対する小穂数の比については図 6.15、穂型の変異については表 6.13 に示した。パキスタンの系統は穂長当たりにつく少穂数が少ない系統（疎らな平穂型）から極端に多い系統（密穂型）まで変異の著しい多様性があった（5～65)。バングラデシュの系統は穂長当たりの小穂数は著しく少なく（平穂型 5～10)、インド（平穂型 5～30)、ネパール（寄穂型 11～30）およびアフガニスタン（平穂型と寄穂型 11～30）の系統は中間であった。ここでは平穂型と寄穂型の中間タイプも区別し、5 タイプに分類した。アフガニスタンとインドの系統はほとんどの系統が平穂型であったが、ネパールの系統はすべて寄穂型であった。パキスタンの系統は大半が平穂型ではあったが、寄穂型の中間から密穂型まで、著しい変異を示していた。穂長に対する小穂数の比は、密穂型では大きくなるが、寄穂型でも穂長が長ければ、小さくなることが見られた。

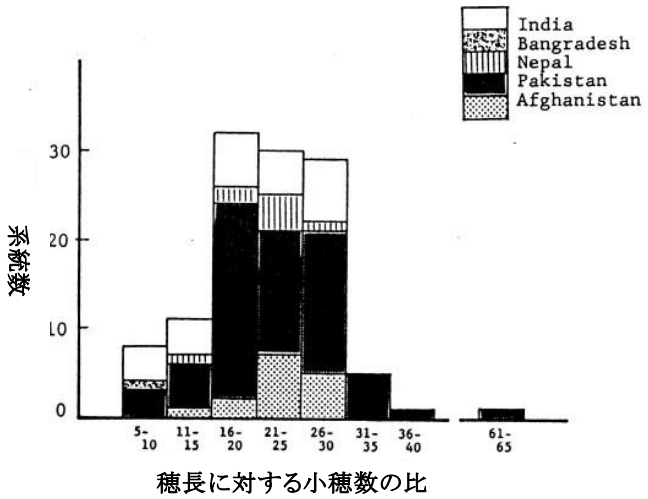


図 6.15. 穂長に対する小穂数の比

表 6.14.　穂型の変異

地域	系統数	平穂型		寄穂型		密穂型	n/a
		疎S	中間Sd	中間Ds	寄D		
		系統数(%)	系統数(%)	系統数(%)	系統数(%)	系統数(%)	系統数(%)
Afghanistan	17	14(82.4)			3(17.6)		0
Pakistan	72	54(75.0)	10(13.8)	1(1.4)	1(1.4)	3(4.2)	3(4.2)
India	78	73(93.6)					5(6.8)
Nepal	20				16(80.0)		4(20.0)
Bangladesh	2	2(100)					0
合計	189	143(75.7)	10(5.3)	1(0.5)	20(10.6)	3(1.6)	12(6.3)

内外穎の色の変異については表 6.15 に示した。アフガニスタンの系統はほとんどが薄茶色、インドの系統は幅広い変異を示したが、薄茶色と灰緑色が多かった。ネパールの系統は薄茶色と白色が多く、ほぼ同じ比率であった。

表 6.15. 内外穎の色の変異

地域	系統数	暗褐色	薄茶色	白色	灰緑色	n/a
		系統数(%)	系統数(%)	系統数(%)	系統数(%)	系統数(%)
Afghanistan	17		16(94.1)	1(5.9)		0
Pakistan	72		6(8.3)	1(1.4)		65(90.3)
India	78	1(1.3)	31(39.7)	6(7.7)	30(38.5)	10(12.8)
Nepal	20		10(50.0)	8(40.0)	1(5.0)	1(5.0)
Bangladesh	2		1(50.0)			1(50.0)
合計	189	1(0.5)	64(33.9)	16(8.5)	31(16.4)	77(40.7)

柱頭色の変異は表 6.16 に示したように、アフガニスタンの系統は赤紫色についで薄紫色が多く、白色は 1 系統のみであった。パキスタンの系統は赤紫色が半数を占めてはいるが、変異は分散していた。インドの系統は赤紫色が著しく多かった。これに対してネパールの系統はすべて白色であった。

表 6.16. 柱頭色の変異

地域	系統数	白色	薄紫色	赤紫色	n/a
		系統数(%)	系統数(%)	系統数(%)	系統数(%)
Afghanistan	17	1(5.9)	4(23.5)	12(70.6)	0
Pakistan	72	12(16.7)	17(23.6)	39(54.1)	4(5.6)
India	78	3(3.8)	6(7.6)	60(76.9)	9(11.5)
Nepal	20	14(70.0)			6(30.0)
Bangladesh	2		1(50.0)	1(50.0)	0
合計	189	30(15.9)	28(14.8)	112(59.2)	19(10.1)

5）中央アジアのキビの変異

キビの地理的起源地が中央アジアである（Sakamoto 1987）との仮設を実証するためには中央アジア諸国の現地調査が必要である。幸いなことに、コロンブスの新大陸上陸500 年記念（1992）の JT クロスカルチャー大賞を得ることができたので、これらの助成により 1993 年 6 月から 8 月にかけてウズベク植物産業研究所（旧ソビエト連邦植物栽培研究所中央アジア分場）と共同研究として雑穀栽培の野外調査を実施することができた。調査ルートを図 6.16 に示した。キビ、アワ、およびモロコシの収集地についても併記してある。

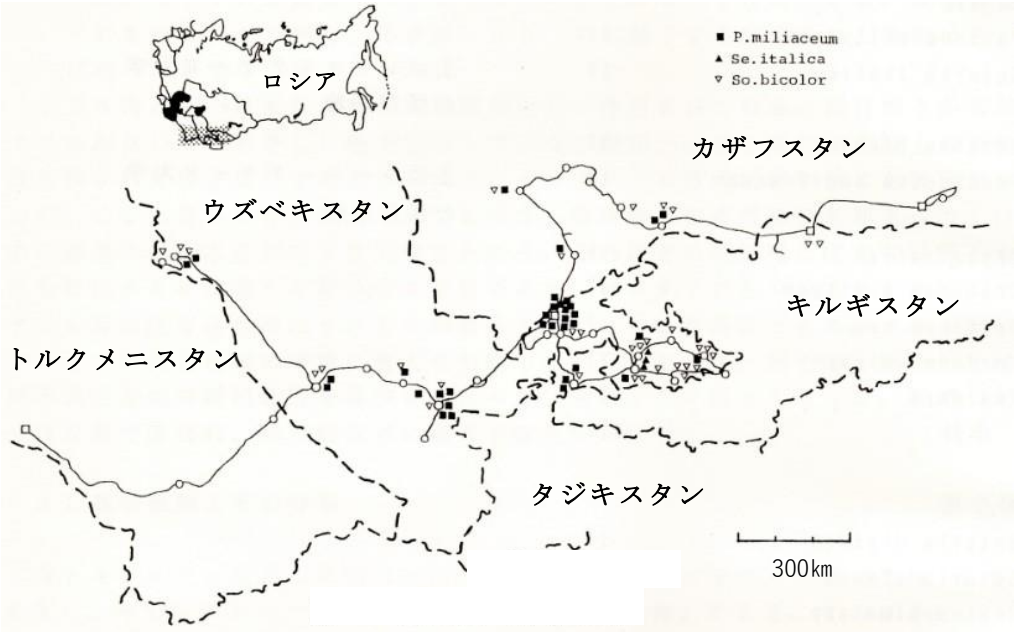


図 6.16. 中央アジアの調査ルートと雑穀の収集地

収集したキビの栽培試験のデータの概略は表 6.16 と表 6.17 に示した。生育した 38 系統の穂型の変異は著しく次の 10 型に詳細区分できた。①直立密穂型（14 系統）、②直立中間（2 系統）、③疎穂型（8 系統）、④長い疎穂型（2 系統）、⑤長い中間型（2 系統）、⑥直立疎穂型（２系統）、⑦中間（2 系統）、⑧疎穂中間（2 系統）、⑨小形穂（1 系統）、⑩小形疎穂型（3 系統）。

大別すると、栽培型である直立密穂型 A タイプおよび疎穂型 B タイプ、随伴雑草型である小形疎穂型 C タイプになる。A タイプ系統は分けつ性が低く、茶色の穎果である系統が多い。B タイプ系統は分けつ性が高く、内外穎の色が灰色の系統が多く、雌蕊は赤紫色である。C タイプの系統は分けつ性と種子脱粒性が高く、早生である。上述した亜種の分類に当てはめると、A と B タイプは栽培型 subsp. *miliaceum*、C タイプは subsp. *miliaceum* の非栽培型（crop-like weedy biotype；93-8-14-1-3-2）、さらに、イヌキ

ビ subsp. *ruderale* (93-6-29-2-15-2、93-7-7-1b-1-2、93-7-13-2-3-2)、および subsp. *agricolum* (93-8-14-1-1) である。

このように、中央アジアのキビは変異が著しく大きく、イヌキビを含む亜種や生物型が存在していることから、地理的栽培起源地であるとの仮設は有効であると考えられる。また、雌蕊が赤紫色であることは日本北海道の在来系統との関連を推測させる特徴である。中央アジアの系統は東京で栽培した場合、開花までの日数が 26～46 日であり、日本北海道の在来系統と同様に著しく早生になった。出葉数は開花までの日数と正の相関が認められるが、6～12 葉と変異の幅は大きい。

表 6.16.　中央アジアおよび南アジアのキビの栽培試験（1986～1994）

地域	系統数	採集地・分譲研究機関
Kazakhstan	13	Turkestan(1), Dzuhambl(3), Chimkent(1), N. I. Vavilov All-Union Institute of Plant Industry, former USSR (8)
Uzbekistan	38	Kokand(2), Samrkand(8), Katta-Kurgan(2), Tashkent(16), Urgench(4), N. I. Vavilov All-Union Institute of Plant Industry, former USSR (6)
Kyrgyzstan	1	N. I. Vavilov All-Union Institute of Plant Industry, former USSR (1)
Tajikistan	5	Leninabad (1), N. I. Vavilov All-Union Institute of Plant Industry, former USSR (4)
合計	57	

表 6.17.　中央アジア収集のキビの変異

採集番号	穂型	内・外穎色	分けつ数	開花日	出葉数	雌蘂色
93-6-26-1a-3	直立密	茶	1.0	.36.8	10.8	薄紫
93-6-29-2-15-1	直立密	灰茶	1.0	.35.8	10.4	薄紫
93-6-29-2-15-2	小型疎	小粒	3.5	26.0	. 6.0	薄紫
93-7-2-2-1	直立密	茶	1.6	39.4	10.6	薄紫
93-7-6-1-25k	直立中間	茶	1.2	35.0	10.2	薄紫
93-7-6-1b-3-1	疎	薄茶	2.4	.39.2	11.4	紫
93-7-7-1b-1-1	直立密	茶	1.6	36.8	10.2	薄紫
93-7-7-1b-1-2	小型疎	灰	3.0	27.8	. 5.8	薄紫
93-7-13-2-1	疎	薄茶	2.6	41.0	12.2	紫
93-7-13-2-3-1	直立密	茶	1.5	37.0	10.5	薄紫
93-7-13-2-3-2	小型疎	灰	2.00	32.0	. 9.0	薄紫
93-7-15-1-4-1	直立疎	薄茶	2.2	40.6	10.8	薄紫／紫
93-7-15-1-4-2	疎	灰	3.5	40.8	11.5	紫
93-7-26-1	直立密	茶	1.8	36.2	9.8	薄紫
93-7-26-1-1n	直立密	茶	2.0	38.0	10.8	薄紫
93-7-27-1-1n-1	長疎	薄茶	2.6	39.3	10.8	紫
93-7-27-1-1n-2	疎	灰	3.0	42.4	10.2	紫
93-7-27-1-7n-1	直立中間	茶	1.6	38.2	9.6	薄紫／紫
93-7-27-1-7n-2	疎	灰	3.4	32.8	7.6	赤紫／薄紫
93-8-2-1-1-1	長中間	薄茶	2.0	46.0	12.0	薄紫
93-8-2-1-1-2	長中間	茶	1.8	44.0	10.6	薄紫
93-8-2-1-1-3	疎	灰	2.2	44.0	11.2	薄紫
93-8-2-1-2	中間	薄茶	2.2	45.8	12.8	薄紫
93-8-5-1b-1	直立密	茶	1.6	37.8	10.4	薄紫
93-8-5-2-1-1	直立密	薄茶	2.2	41.8	11.5	薄紫
93-8-5-2-1-2	直立疎	灰	3.6	42.4	11.2	紫
93-8-7-1a-3	直立密	茶	1.3	39.3	11.0	薄紫
93-8-7-1a-5-1	疎	薄茶	2.5	38.0	10.8	薄紫
93-8-7-1a-5-2	中間	灰	1.8	42.4	11.4	薄紫
93-8-7-1a-6	直立密	薄茶	2.0	45.0	11.6	薄紫／赤紫
93-8-7-1b-1-1	疎中間	薄茶	2.8	45.0	10.6	薄紫／紫
93-8-7-1b-1-2	疎	灰	2.2	45.6	11.4	紫／薄紫
93-8-7-1d	疎中間	薄茶	2.6	43.2	11.4	薄紫／紫
93-8-14-1-1	小型	暗褐	2.8	29.4	6.0	薄紫
93-8-14-1-2-1	直立密	暗褐	2.6	30.6	. 7.4	薄紫
93-8-14-1-2-2	直立密	茶	1.2	40.0	10.8	薄紫
93-8-14-1-3-1	直立密	茶	1.8	36.5	10.3	薄紫
93-8-14-1-3-2	疎長	暗褐小粒	2.5	34.0	9.5	薄紫／紫

中央アジアと南アジアのキビの変異を比較するために、1986 年から 1994 年までの栽培試験のデータを改めて比較した。東京で栽培した場合の開花までの日数を表 6.18 に示した。図 6.5 で南アジアの系統と比較すると、中央アジアの系統は極早生で、アフガニスタンから南下するにしたがって、中生から晩生に向かう傾向が認められる。また、パキスタンとインドの変異の幅が大きいことも示されている。
主稈の葉数は表 6.19 に示したように、図 6.6 で南アジアの系統と比較すると、中央アジアの系統は少なく、南下するにしたがって増加傾向にある。

表 6.18.　開花までの日数の変異

地域	日数／系統数						
	20-30	-40	-50	-60	-70	-80	n/a
Kazakhstan	2	10					1
Uzbekistan	3	15	15				5
Kyrgyzstan	1						
Tajikistan		2	1				2
合計	6	27	16	0	0	0	8

表 6.19.　主稈の葉数の変異

地域	葉数／系統数						
	5-6	7-8	9-10	11-12	13-14	15-16	n/a
Kazakhstan	6	1	5				1
Uzbekistan	3	2	16	12			5
Kyrgyzstan	1						
Tajikistan			2	1			2
合計	10	3	23	13	0	0	8

有効分けつ数の変異は表 6.20 に示した。図 6.8 と比較して見ると、中央アジアから南下するにしたがって、分けつ数が多くなる傾向にある。分けつ数の変異の幅は、アフガニスタン、とりわけインドの系統で、著しい。一方で、ネパールの系統はあまり分けつしない。

表 6.20.　有効分けつ数の変異

地域	有効分けつ数／系統数						
	1.0-2.0	2.1-3.0	3.1-4.0	4.1-5.0	5.1-6.0	6.1-	n/a
Kazakhstan	6	2	4				1
Uzbekistan	14	15	4				5
Kyrgyzstan		1					
Tajikistan	1	2					2
合計	21	20	8	0	0	0	8

草丈、穂長、止葉長／幅比、穂当たりの小花数、穂首の有毛性、などの変異に関しては標本から計測するに至らなかったので、ここでは比較していない。穂型については表6.21に示した。図6.13で南アジアの系統と比較すると、中央アジアからパキスタンまでの系統では変異が著しい。中でもパキスタンの系統は平穂型がとても多いとはいえ、密穂型まで幅広い変異を含んでいる。他方で、インドとバングラデシュの系統は平穂型のみ、ネパールの系統は寄穂型のみが見られ、穂型の変異はほとんど見られなかった。

穎果色の詳細な区分による変異は表6.22に示した。表6.14で南アジアの系統と比較すると、中央アジアの系統は暗褐色から薄茶色が多いが、灰色の系統も見られ、変異は大きかった。

柱頭色の変異は表6.23に示した。表6.15で南アジアの系統と比較すると、中央アジアの系統には白色はなく、薄紫色が多く、赤紫色も 22%ほど見られた。アフガニスタンからインドの系統は赤紫色がとても多いが、白色から薄紫色も多かった。ネパールは白色のみであった。

表6.21.　穂型の変異

地域	穂型					
	平穂型	sd1)	ds1)	寄穂型	密穂型	n/a
Kazakhstan	1*		1	3		8
Uzbekistan	13	1	7	11		6
Kyrgyzstan						1
Tajikistan	1					4
合計	14+1*	1	8	14	0	19

1) sd と ds は平穂型と寄穂型の中間、＊雑草型。

表6.22.　穎果色の変異

地域	穎果色の変異／系統数								
	暗褐色	褐色	薄茶色	灰茶色	灰色	象牙色	灰緑色	橙色	n/a
Kazakhstan		3	1	1					8
Uzbekistan	3	10	10		9				6
Kyrgyzstan									1
Tajikistan			1						4
合計	3	13	12	1	9	0	0	0	19

表6.23.　柱頭色の変異

地域	柱頭色／系統数			
	白色	薄紫色	赤紫色	n/a
Kazakhstan		5		8
Uzbekistan		19+6*	5+2*	6
Kyrgyzstan				1
Tajikistan			1	
合計	0	30	8	15

＊ 異なった色の混合

6）形態的形質の多変量解析

これまでに蓄積してきた形態的形質のデータを用いて、編相関分析とクラスター分析（IBM/ SPSS、 Statistics ver.21）を行った。

①　形態的形質の編相関分析

編相関係数は 14 の形態的形質に関して算出して表 6.24 に示した。1%水準で統計的に有意、0.6 以上の編相関係数は次の形質間で認められる。

（1）開花までの日数 DF に対する草丈 PH、主稈葉数 LN。晩生の在来品種は多くの葉数、生長期に効果的な光合成を維持する大きな止葉、重い穂を支える太い稈を持ち、草丈が高い。（2）草丈 PH に対する DF、LN、止葉長・幅 FL・FW、穂首の太さ DI。草丈の長さは晩生で、葉数が多く、止葉が大きく、効果的に光合成を行い、太い穂首が充実した重い穂を支える。（3）主稈葉数 LN に対する DF、PH、FW、穂首の太さ DI。葉数は生育日数により増加し、草丈も高くなる。（4）相互に PH、LN、および FL・FW。止葉長・幅 FL・FW に対する DI。5）穂首の太さ DI に対する PH、LN、FL、FW。穂首の太さは光合成器官の充実により、重い穂を支える太い穂首、稈ができる。（6）他の形質は統計的に高い有意差はなかった。{統制係数はヨード・ヨードカリ呈色反応}

イネ、コムギやトウモロコシなどの主穀と比べて、生物的な多様性は著しい一方で、栽培者によって人為選択が栽培化過程において行われてきた。その結果として、雑穀は分けつが少なく、太い稈をもち、大きな穂に多くの小種子（キビの場合 200～1,400 粒）をつけるようになった。ただし、第 7 章で取り上げるが、栽培化過程は栽培者の一方的な働きかけだけで進んだのではなく、植物の側にも多彩な対応があっての共進化の成果であった。

表 6.24.　形態的 14 形質に関する編相関係数

形質	開花までの日数 DF	分けつ数 TN	草丈 PH	主稈の葉数 LN	止葉長 FL	止葉幅FW	FL/FW	穂長 PL	穂首の太さ DI	穂型 PL	穎果色 LC	柱頭色 SC	穂首の有毛性 HI	脱粒性 SH
DF	1.000	0.005	0.835**	0.916**	0.501**	0.503**	-0.032	-0.400**	0.569**	0.363**	-0.055	0.131	0.078	0.027
TN	0.005	1.000	-0.203	-0.173	-0.216	-0.347**	0.297*	-0.259	-0.375**	-0.157	-0.118	-0.045	-0.008	-0.048
PH	0.835**	-0.203	1.000	0.907**	0.746**	0.736**	-0.095	-0.024	0.804**	0.543**	-0.030	0.015	0.036	0.057
LN	0.916**	-0.173	0.907**	1.000	0.594**	0.640**	-0.145	-0.310*	0.713**	0.372**	-0.009	0.172	0.056	0.066
FL	0.501**	-0.216	0.746**	0.594**	1.000	0.787**	0.164	0.179	0.726**	0.382**	0.039	-0.012	0.049	0.221
FW	0.503**	-0.347**	0.736**	0.640**	0.787**	1.000	-0.451**	0.170	0.814**	0.515**	-0.127	-0.123	-0.104	0.186
FL/FW	-0.032	0.297*	-0.095	-0.145	0.164	-0.451**	1.000	-0.052	-0.254	-0.226	0.217	0.123	0.202	0.002
PL	-0.400**	-0.259	-0.024	-0.310	0.179	0.170	-0.052	1.000	0.169	0.235	0.061	-0.240	0.052	-0.116
DI	0.569**	-0.375**	0.804**	0.713**	0.726**	0.814**	-0.254	0.169	1.000	0.548**	-0.033	-0.079	0.082	0.081
PT	0.363**	-0.157	0.543**	0.372**	0.382**	0.515**	-0.226	0.235	0.548**	1.000	-0.043	-0.335	-0.128	-0.142
LC	-0.055	-0.118	-0.030	-0.009	0.039	-0.127	0.217	0.061	-0.033	-0.043	1.000	0.358	0.102	0.043
SC	0.131	-0.045	0.015	0.172	-0.012	-0.123	0.123	-0.240	-0.079	-0.335*	0.358**	1.000	0.124	-0.011
HI	0.078	-0.008	0.036	0.056	0.049	-0.104	0.202	0.052	0.082	-0.128	0.102	0.124	1.000	0.053
SH	0.027	-0.048	0.057	0.066	0.221	0.186	0.002	-0.116	0.081	-0.142	0.043	-0.011	0.053	1.000

＊5%、** 1% レベルで有意.

②　形態的形質のクラスター分析

形態的な 8 形質と早熟性のクラスター分析（SPSS、群平均法）の結果を図 6.17 に示した。75 在来系統は 2 つの大きなクラスターに分かれた。さらに、I 群は 5 つの亜群に、II 群は 2 つの亜群に分かれた。

亜群 Ia は、中央アジア 3（旧ソビエト連邦）、ウズベキスタン 1、中国 3、スペイン 1、ドイツ 2、カナダ 1、合計 11 在来系統で構成されていた。Ib 亜群は、おおかたが西ヨーロッパの在来系統で、日本北海道、モンゴル、ウズベキスタン、およびパキスタンの系統も含んでいた。Ic 亜群も主にヨーロッパの系統で、少しのウズベキスタンおよびインド亜大陸の系統を含んでいた。Id 亜群は、アフガニスタン、ギリシャおよびパキスタンの 3 系統で構成されていた。Ie 亜群はインドの 1 系統のみであった。

IIa 亜群は、主に東アジアの系統 16 の他、ネパール 3 系統、バングラデシュ 1 系統を含んでいた。II b 亜群は、主にインド亜大陸の 6 系統の他、中国 2、日本 2、およびルーマニア 1 系統を含んでいた。

すなわち、この分析から読み取れるように、形態的特性は概略すると次のような 2 つの地理的傾向を示している。①中央アジア・南アジアから小アジアを経て、ヨーロッパに向かう傾向、②中国からネパールを経て南方のインドへ、および、韓国を経て極東の日本へ向かう傾向である。これらの地理的傾向はキビの起原と伝播経路の一端を示唆している。

7）まとめ

キビの出穂はしばしば不規則であり、出穂前 4～5 日に葉鞘内で開花が起こっている。そこで、出穂日ではなく、開花日を記録して、播種から開花までの日数を計測してきた。一般に、高緯度地域で栽培されてきた系統は開花までの日数は短いが、著しく変動する。東京で栽培した場合、中国、モンゴル、旧ソビエト連邦、ヨーロッパ、中央アジア、日本北海道の系統は非常に早生で、播種後 40 日ほどで開花する。一方で、インド、本州以南の日本の系統は晩生で、これらの約 30%は 80 日ほどで開花する。

主稈の葉数は、中国、モンゴル、旧ソビエト連邦、ヨーロッパ、中央アジア、日本北海道では少なく（5～10）、西・南アジア、韓国、本州以南の日本では前者の系統よりも多い（11～16）。

有効分けつ数は日本、韓国、ネパールのすべての系統は少なく（1～3）、中央アジア、南アジア、旧ソビエト連邦（中央アジア含む）、およびヨーロッパは幅広い変異（1～6）を示し、インドの系統は変異の幅がさらに広く、極端な系統（6.9%）では著しい分けつ数（9）を示した。

キビは植物全体に毛が多いが、穂首についてはほとんどの系統は無毛か、ごくまれに毛が見られるだけである。ところが詳細に穂首の有毛性について見ると、無毛、有毛、多毛、著しく多毛、に 4 分類できる。日本北海道（40.0%）、西アジア（26.1%）およ

びヨーロッパ（20.0%）の系統では著しい有毛性が見られる。

穂型は、平穂型、寄穂型、密穂型およびこれらの中間型に 5 分類できる。日本北海道、中国、インド、西アジア、旧ソビエト連邦、ヨーロッパの系統のほとんどは平穂型である。一方、日本の本州以南、韓国、ネパールは寄穂型である。中央アジアは変異の幅が広く、さらに、西アジア、旧ソビエト連邦、ヨーロッパの系統で、ほんの少数の系統に密穂型が見られる。

成熟時の穎果（内・外穎）の色は暗褐色、褐色、薄茶色、象牙色（白色）、橙色、および灰緑色（灰色）の 6 色におおまかに分類できる。旧ソビエト連邦やヨーロッパの在来系統は色の変異が大きい。日本北海道と中国は暗褐色であるが、本州以南の日本の在来系統は褐色、薄茶色、象牙色（白色）である。中央アジアは暗褐色から薄茶色が多いが、灰色の系統も見られる。インドの系統では、灰緑色（45.6%）が多いが、薄茶色や象牙色もある。

成熟時の雌蕊柱頭の色は、在来系統によって白色、薄紫色および、赤紫色のいずれかである。おおかたの系統（70%）は白色または薄紫色である。日本本州以南とネパールの系統は白色である。中央アジアは薄紫色が多く、赤紫色もあり、白色の系統はない。一方、赤紫色が多いのは、日本北海道、インド、西アジアの系統であり、ヨーロッパの系統では 28%である。

このように、全ユーラシアから収集した在来系統について比較した。日本の北海道に居住している先住民アイヌの人々が栽培している在来系統は日本の他地域のものと異なった特性を示した。パキスタン、インド、中央アジアから収集した在来品種は、まばらな花序、多分けつ性などの形質で大きな変異があった。日本への伝播と全ユーラシアへの伝播および栽培化過程を再構成するために、これらの特性の地理的分布は有用な情報である。中部アジア各地から収集した在来系統の、7 つの形態的と生態的特性について計測して、比較した。北パキスタンからカザフスタンまでの在来系統は疎らな穂、早生などにおいて著しい多様性を示した。これらの地理的変異はキビの起源地を明確にし、中部アジア周辺での栽培化過程を再構成するのに、有用な情報を与えている。栽培型に混じって 3 つの雑草型がカザフスタン、ウズベキスタン、パキスタンで見られた。これらは、（1）栽培型 subsp. *miliaceum* に似た雑草 biotype、（2）短い花序と暗褐色の内外穎をもった subsp. *agricolum* 、（3）およびイヌキビ subsp. *ruderale* に同定できる。どの雑草型も種子の脱粒性が著しい。これらの事例は、キビが中部アジアで栽培化され、イヌキビの変種が祖先野生型であることを示唆している。

アフガニスタンからインド亜大陸にかけて分布する品種の特徴を詳細に検討したところ、多様な変異が認められるとともに、アフガニスタンからネパールにかけて非分けつ性の系統が連続的に分布し、インドのビハール州やバングラデシュでは多分けつ性の系統が多く、ヒンドスタン平原への伝播はヒマラヤ南麓ルートとは異なるものと考えられる。キビの日本への伝播についてはシベリア経由の北方ルートおよびヒマラヤ南麓経

由の南方ルートを想定し、フィールド調査を行ってきた。北海道のキビの顕著な特徴は第一節間の多毛、護穎などの紫色、雌蕊の赤紫色、早生などであるが、これらの特徴は日本本州からネパールの系統にはあまりみられない特徴で、むしろ西アジアからユーロッパの品種につながるものである（木俣ら 1986）。

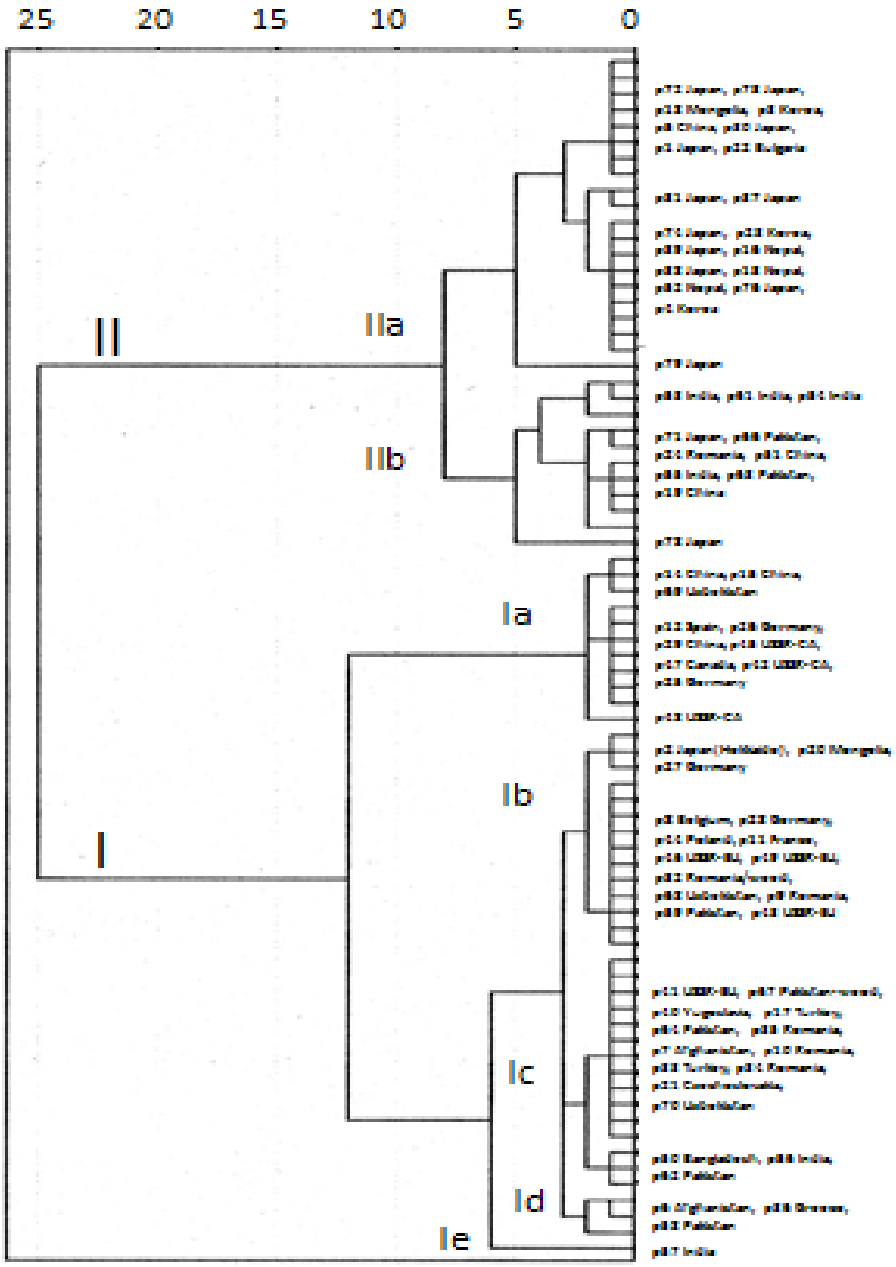


図 6. 18.　形態的形質によるクラスター分析

これら形態的形質のまとめから、キビの植物学的起原と栽培化過程、および地理学的起源地と伝播経路の概要がかなり明瞭に仮設できた。

6.3. 系統間人為交雑から見た地理的変異

形態的形質に基づく仮設を、さらに遺伝学的形質により検証するために、交雑実験を1990年より系統的に実施した。表6.25に示したように、ユーラシア全域で収集した70在来系統を用いて、人為交雑により系統間の交雑能力を検定した。さらに、これらの人為交雑により得た雑種第一代 F_1 および雑種第二代 F_2 の形態的形質の観察、計測、分析を行った。

表 6.25. 交雑実験の供試系統

地域	系統数	栽培番号
Japan	10	PC5, PC11, PC57-2 (Hokkaido)
		PC166, PC203, PC211, PC229, PC232, PC235, **PC480** (Others)
Korea	3	PC33, PC35, PC169
China	6	PC36, PC52, PC53, PC112, PC197, **PC316**
Mongolia	2	PC110, PC115
Central Asia	4	**PC247**, PC257, PC275, PC302 (Former USSR)
Afghanistan	4	PC37, PC39, PC156, PC160
Pakistan	7	PC443, PC451, PC455, PC458, PC494, PC496, PC505
India	8	PC339, PC350, PC354, PC366, PC392, PC441, PC486, **PC488**
Nepal	3	PC51, PC67, PC326
Bangladesh	1	PC312
Turky	1	PC099
Greece	1	PC222
Romania	2	PC45, PC170
Yugoslavia	1	PC239
Czechoslovakia	1	PC116
Blugaria	1	PC139
Russia	4	PC243, PC263, PC282, PC305 (Former USSR)
Poland	1	PC265
Germany	4	PC179, PC181, PC187, PC188
Belgium	1	PC44
France	2	PC49, **PC259**
Spain	1	PC50
Canada	1	PC291
雑草	1	**PC47** (Romania)
合計	70	

太字はテスターの6系統

1) 実験方法

①栽培と交雑方法

種子親の各系統とも種子10粒を7月10日に播種した。花粉親（テスター系統）は開花期を合わせるために、播種時期をずらして複数回繰り返して播種した。肥料はガラス室内の各ベッド当たり、リン硝安安カリ400ｇを与え、株間14㎝ｘ畝間15㎝間隔で実

験ベッドに 5 個体と予備にまとめて残り個体を定植した。

キビは基本的には自殖性であるので、交雑方法は、種子親の開花が予測される日の前日に、自家受粉しないように内外穎の上部を切除して雄蕊の葯を除き、次にパラフィン紙製の袋をかけて他家受粉を防ぐようにした。その後開花時に花粉親から採取した葯の花粉を種子親の雌蕊柱頭に塗布した。この処理から種子の収穫まで、パラフィン紙の袋で覆ったままにした。具体的には、種子親系統の穂（1～3、平均 1.2）についている小花（5～50、平均 17.0）に、各花粉親の花粉を人為交雑した。

ユーラシアの在来系統間の交雑率と雑種第一代 F_1 の形態的形質の比較を行うために、1990 年から 1995 年までの 6 年間に、420 組み合わせを計画的して系統間交雑実験を進めた。花粉親テスターとしてフランス PC259（var. *leptdermum* Batal.）、中央アジア・カザフスタン PC247（var. *aureum* Alef.）、インド・ビハール PC488、中国 PC316、日本埼玉県 PC480、およびルーマニア・Iasi 郊外 PC47(雑草イヌキビ subsp. *ruderale*)、合計 6 系統を用い、表 6.25 に示した種子親 70 系統との間で人為交雑を行い、その結実率で交雑稔性を推定することにした。

キビの人為交配は技術的に難しい。しばしば、出穂前に葉鞘の中でも不規則な開花が起こり、また、葯の裂開は日々の気象条件にとても感受性が強く、雨降りの多湿条件では完全には裂開しない。こうした要因で、観察した交雑率は相対的に低いのだと考えられる。雑種第一代および雑種第二代の生育個体はすべて定植して、形態的形質を計測した。証拠標本は山梨県小菅村の植物と人々の博物館に収蔵してある。

2）人為交雑実験の結果

①人為交雑による種子稔性

系統間の結実（交雑）率は表 6.26 に要約した。開花期を合わせることができた 360 組み合せの人為交雑を行い、雑種第一代 F_1 の 115 系統を得た。総計で、431 穂の 7、161 小花を受粉して、287 粒の雑種種子を得たので、総合結実率は 4.0％であった。

雑種第一代 F_1 は種子親の 125 系統（他組合わせ 10 も含む）で得られた。テスター系統間では、種子親の交雑率の方が花粉親の交雑率よりも低かった。それぞれの系統で、1～15 種子粒が得られ、発芽率は雑種第一代 F_1 の 105 で観察することができた。大方の種子はよく発芽したが、一部の種子は発芽しないか、発芽後すぐに壊死した。また、昆虫の食害で計測できない系統もあったが、良好に生育した雑種第一代 F_1 系統はすべてが高い花粉稔性（78％以上）を示した。

フランスのテスター系統 PC259 はヨーロッパの系統の中で最も多くの健全な雑種第一代（41.2％）を作った。中アジアのテスター系統 PC247 は東アジアの系統とのみ雑種第一代(58.8%)を作った。インドのテスター系統 PC488 は雑種第一代を東アジア(33.3％)と南アジア（30.8％）の系統とで作った。中国のテスター系統 PC316 は雑種第一代を東アジアの系統（45.0％）とヨーロッパの系統（45.0％）とで作った。日本のテスター系

統 PC480 は雑種第一代を東アジアの系統（45.0%）と中央アジアの系統（37.6%）、および南アジアの系統（38.9%）とで作った。雑草テスター系統 PC47 は雑種第一代を南アジア（35.7%）と中央アジアの系統（28.6%）とで作った。

これらの交雑実験の結果から特に注目しておきたい点を次に記す。雑草 PC47、subsp. *ruderale* の花粉は人為的に在来栽培系統の種子親を受精させられるが、反対に、雑草型の種子親は栽培型の花粉親を全く受け入れていない。雑草 PC47 は作物類似の雑草性生物型ではない。なぜならば、花粉親としては逆にすべての地域の在来系統間での確実な結実に関わらず、種子親としては生殖的には隔離されており、不稔の雑種を作るからである。しかし、subsp. *ruderale* は他の系統間の雑種が稔性ある雑種第一代を作るゆえに、祖先種である可能性を残している。

特に、平穂型で脱粒性の穂をもった在来系統（PC57-2、日本北海道）は中央アジア、インド、および日本の系統と雑種第一代を形成したが、他の系統とは作らなかった。フランスのテスター系統はヨーロッパの系統と、東アジアの系統は中央アジアのテスター系統と、インドのテスター系統は東・南アジア系統と、中国のテスター系統は東アジアとヨーロッパの系統とで稔性のある雑種第一代を作った。中央アジアの系統は雑草PC47と交雑した際と同様に、インドと中国の種子親との交雑では不稔であった。これらのデータはキビが中央アジアからそれぞれ中国とヨーロッパに伝播し、さらにその後、間接的には、南アジアと東アジアに伝播したことを示唆している。

花粉親との交雑稔性からみてユーラシアの東西端に位置する日本とフランスの系統の間ではもっとも生殖的な隔離ができているが、中国の系統はヨーロッパの系統と、インドの系統は東アジアの系統と、中央アジアの系統も東アジアの系統と交雑が容易であることが明らかになった（表 6.26、表 6.27）。ここで、中国の系統がヨーロッパの系統と親和性があるのは、後述するように、13 世紀にフビライの遠征軍が中国からヨーロッパに侵入した際に、モンゴル兵の主食がキビであったことと関係があると推測できる。

②雑種第一代の種子発芽と発芽生育個体の花粉稔性

人為交雑により得た数少ない雑種第一代種子（315 粒）を播種したところ、おおかたは良好な発芽を見たが、中には発芽しない種子（67 粒）、発芽してもしばらくして壊死した個体（6）もあった。しかしながら、良好に生育した個体に関しては、アセト・カーミン法による花粉稔性では、78.1～100%の高い値が確認できた（表 6.28）。

表 6.26.　人為交雑実験の要約

地域	種子親70系統	フランスPC259				
		穂数	小花数	結実数	種子%	系統%
東アジア	21	19	333	13	3.9	23.5
中央アジア	8	6	87	2	2.3	16.7
南アジア	19	19	279	11	3.9	26.7
ヨーロッパ	20	18	290	20	6.9	41.2
カナダ	1	1	15	0	0	0
雑草型	1	1	16	0	0	0
交雑組合せ合計	56	64	1020	46	4.50%	
		中央アジアPC247				
		穂数	小花数	結実数	種子%	系統%
東アジア		21	342	20	5.8	58.8
中央アジア		5	63	1	1.6	20.0
南アジア		18	315	16	5.1	29.4
ヨーロッパ		20	349	4	1.1	16.7
カナダ		2	16	5	31.3	+
雑草型		1	12	0	0	0
交雑組合せ合計	59	67	1097	46	4.40%	
		インドPC488				
		穂数	小花数	結実数	種子%	系統%
東アジア		23	398	12	3.0	33.3
中央アジア		5	113	0	0	0
南アジア		13	183	14	7.7	30.8
ヨーロッパ		18	301	5	1.7	17.6
カナダ		1	19	0	0	0
雑草型		1	16	0	0	0
交雑組合せ合計	48	61	1030	31	3.0%	
		中国PC316				
		穂数	小花数	結実数	種子%	系統%
東アジア		27	461	26	5.6	38.1
中央アジア		7	96	0	0	0
南アジア		18	417	7	1.7	25.0
ヨーロッパ		23	321	44	13.7	45.0
カナダ		1	17	0	0	0
雑草型		1	6	0	0	0
交雑組合せ合計	66	77	1318	77	5.8%	
		日本PC480				
		穂数	小花数	結実数	種子%	系統%
東アジア		32	484	2	0.4	45.0
中央アジア		9	134	8	6.0	37.6
南アジア		25	317	25	7.9	38.9
ヨーロッパ		23	416	12	2.9	21.1
カナダ		1	23	0	0	0
雑草型		1	19	0	0	0
交雑組合せ合計	67	91	1393	47	3.4%	
		雑草型PC47				
		穂数	小花数	結実数	種子%	系統%
東アジア		18	362	13	3.6	16.7
中央アジア		8	145	10	6.9	28.6
南アジア		17	300	6	2.0	35.7
ヨーロッパ		24	448	11	2.5	16.7
カナダ		1	23	0	0	0
雑草型		3	25	0	0	0
交雑組合せ合計	60	71	1303	40	3.1	
総計		431	7161	287	4.0%	

表 6.27.　人為交雑実験の詳細

栽培番号（花粉親）		PC259	PC247	PC488	PC316	PC480	PC47
地域（種子親）		France	Central Asia	India	China	Japan	雑草
Japan	PC5	(0%) 1/13/0	(9.1%) 1/33/3	(3.1%) 1/32/1	(0%) 1/10/0	(5.3%) 1/19/1	(0%) 1/16/0
	PC11	(0) 1/19/0	(5.0) 1/20/1	(3.0) 1/33/1	(13.0) 2/23/3	(0) 1/11/0	(4.3) 1/23/1
	PC57	(0) 1/10/0	(33.3) 1/6/2	(12.1) 7/66/8	(0) 1/27/0	(10.3) 3/29/3	(4.3) 1/23/1
	PC166	(4.0) 1/25/1			(7.1) 1/28/2	(12.5) 1/24/3	(0) 1/13/0
	PC203		(1.7) 2/58/1	(0) 1/36/0	(7.1) 1/14/1	(7.5) 3/40/3	(0) 1/19/0
	PC211				(0) 2/31/0	(0) 3/42/0	
	PC229		(0) 1/12/0		(0) 1/18/0	(0) 1/12/0	
	PC232	(0) 1/26/0	(18.8) 1/16/3	(0) 1/29/0	(0) 1/22/0	(12.5) 1/8/1	(11.1) 1/18/2
	PC235	(0) 1/11/0	(0) 1/16/0		(0) 1/15/0	(0) 4/51/0	(0) 1/24/0
	PC480	(0) 1/17/0	(0) 1/17/0		(10.5) 1/19/2	(0) 4/47/0	
Korea	PC33	(0) 1/16/0	(19.2) 1/26/5	(3.8) 1/26/1	(10.9) 2/55/6	(21.2) 1/33/7	(0) 1/16/0
	PC35				(0) 1/27/0	(5.6) 1/36/2	(0) 1/27/0
	PC169	(6.7) 1/15/1	(7.1) 2/28/2		(0) 1/20/0	(13.6) 2/22/3	(0) 1/17/0
China	PC36	(0) 1/32/0	(0) 1/22/0	(0) 1/42/0	(31.8) 1/22/7	(6.3) 1/16/1	(0) 1/19/0
	PC52	(2.7) 2/37/1	(18.2) 1/11/2	(0) 1/14/0	(0) 2/14/0	(6.7) 1/15/1	(35.7) 1/14/5
	PC53	(4.0) 2/25/1	(7.7) 1/13/1	(0) 3/32/0	(0) 1/15/0	(0) 1/6/0	(22.2) 1/18/4
	PC112	(0) 1/36/0	(0) 1/12/0	(11.8) 1/17/0	(7.9) 2/38/3	(0) 1/10/0	(0) 1/19/0
	PC197	(0) 1/10/0	(0) 3/26/0	(0) 1/16/0	(0) 1/4/0	(0) 1/29/0	(0) 1/14/0
	PC316	(0) 1/18/0			(0) 2/15/0	(0) 1/11/0	(0) 1/25/0
Monglia	PC110	(39.1) 1/23/9	(0) 1/11/0	(0) 2/8/0	(0) 1/22/0		(0) 1/13/0
	PC115	(0) 1/16/0	(20.0) 1/15/3	(2.1) 2/47/1	(10.5) 1/19/2	(30.4) 1/23/7	(0) 1/44/0
Central Asia	PC247	(0) 1/18/0	(12.5) 1/8/1		(0) 1/10/0	(9.7) 2/31/3	(5.0) 2/20/1
	PC257	(0) 1/14/0	(0) 1/14/0		(0) 1/10/0	(5.9) 1/17/1	(0) 1/26/0
	PC275		(0) 1/15/0	(0) 1/28/0	(0) 1/7/0	(0) 1/14/0	(0) 1/14/0
	PC302	(0) 1/10/0	(0) 1/10/0	(0) 2/36/0	(0) 1/13/0	(0) 1/15/0	(0) 1/21/0
Afghanistan	PC37	(5.3) 1/19/1			(0) 1/18/0	(0) 1/13/0	(25.7) 1/35/9
	PC39	(3.4) 1/29/1		(0) 1/36/0	(0) 1/29/0	(0) 1/9/0	(0) 1/13/0
	PC156					(15.4) 1/13/2	
	PC160	(0) 1/26/0	(0) 1/16/0	(0) 1/13/0	(0) 1/9/0	(9.1) 1/22/2	(0) 1/16/0
Pakistan	PC443	(3.2) 1/31/1	(0) 1/16/0	(0) 1/11/0	(0) 2/24/0		
	PC451		(20.0) 1/20/4	(0) 1/8/0		(54.5) 1/11/6	(5.9) 1/17/1
	PC455	(0) 1/14/0	(0) 1/21/0	(0) 1/31/0	(0) 1/18/0	(0) 2/26/0	(0) 1/9/0
	PC458	(0) 1/15/0	(0) 1/20/0	(0) 1/-/0	(20.0) 1/10/2	(27.3) 1/11/3	(0) 1/14/0
	PC494	(0) 1/25/0	(0) 1/10/0	(0) 1/10/0	(0) 2/37/0	(6.7) 1/15/1	(0) 1/24/0
	PC496		(0) 1/17/0	(5.6) 1/18/1	(0) 1/16/0	(0) 2/14/0	(0) 2/22/0
	PC505	(10.0) 2/20/2	(0) 1/15/0	(7.1) 1/14/1	(5.3) 1/19/1	(0) 1/9/0	(0) 1//11/0
India	PC339	(0) 1/18/0	(0) 1/8/0	(70.0) 1/10/7	(15.8) 1/19/3	(0) 1/15/0	(3.4) 1/29/1
	PC350		(0) 2/20/0		(0) 2/38/0	(6.3) 1/16/1	
	PC354	(0) 1/6/0	(4.2) 1/24/1	(11.8) 1/17/2	(0) 1/15/0	(0) 2/16/0	(2.6) 2/38/1
	PC366		(17.2) 1/29/5	(0) 1/17/0	(0) 1/18/0	(18.8) 1/16/3	(4.5) 2/44/2
	PC392	(7.7) 4/52/4	(19.2) 1/26/5	(21.4) 1/14/3	(3.8) 1/26/1	(0) 2/35/0	(7.1) 1/14/1
	PC441	(0) 1/29/0	(0) 1/13/0		(0) 1/28/0	(0) 1/17/0	(0) 1/29/0
	PC486	(25.0) 1/16/4	(0) 1/12/0	(0) 1/17/0		(57.1) 1/14/8	(0) 1/21/0
	PC488	(0) 1/14/0				(23.1) 2/13/3	
Nepal	PC51	(0) 1/12/0	(3.4) 1/29/1	(0) 1/16/0	(0) 1/16/0	(18.2) 1/11/0	(0) 1/6/0
	PC67	(0) 1/11/0	(0) 1/8/0		(0) 1/23/0	(0) 2/26/0	
	PC326	(0) 1/3/0	(0) 1/27/0		(0) 1/10/0	(0) 1/19/0	(0) 1/22/0
Bangladesh	PC312	(0) 1/13/0			(0) 3/34/0	(0) 2/33/0	
Turkey	PC99	(0) 1/10/0	(0) 1/23/0	(0) 1/17/0	(7.7) 1/13/1	(14.8) 2/27/4	(0) 1/28/0
Greece	PC222	(0) 1/19/0	(0) 1/18/0	(0) 1/5/0	(0) 1/3/0	(0) 1/15/0	(22.2) 1/18/4
Romania	PC45	(16.7) 1/12/2	(0) 1/18/0	(9.1) 1/11/1	(11.8) 1/17/2	(0) 1/20/0	(0) 2/19/0
	PC170	(14.3) 1/14/2	(0) 1/24/0	(0) 1/11/0	(0) 1/32/0	(0) 1/22/0	(3.3) 3/61/2
Yugoslavia	PC239	(0) 1/17/0	(0) 1/15/0	(0) 1/12/0	(8.3) 1/12/1	(0) 1/14/0	(0) 1/19/0
Czechoslovakia	PC116	(0) 1/28/0	(0) 1/9/0	(0) 1/17/0	(0) 1/10/0	(0) 1/24/0	(0) 1/25/0
Blugaria	PC139	(11.1) 1/9/1	(10.5) 1/19/2	(0) 1/27/0	(7.1) 1/14/1	(0) 1/33/0	(0) 1/25/0
Russia	PC243	(0) 1/10/0	(0) 3/47/0	(0) 1/26/0	(0) 1/9/0	(0) 1/12/0	(0) 1/22/0
	PC263	(0) 1/13/0	(0) 1/8/0	(0) 1/22/0	(11.8) 2/17/2	(0) 1/11/0	(0) 1/15/0
	PC282	(0) 1/20/0	(0) 1/16/0	(0) 1/23/0	(45.5) 1/33/15	(12.0) 1/25/3	(0) 1/10/0
	PC305	(0) 1/12/0	(0) 1/17/0	(0) 1/22/0	(0) 1/9/0	(4.8) 1/21/1	(0) 1/29/0
Poland	PC265	(0) 1/5/0	(0) 1/15/0	(0) 1/10/0	(28.6) 1/14/4	(14.8) 1/27/4	(0) 1/19/0
Germany	PC179	(0) 1/17/0	(0) 1/18/0	(5.6) 1/18/1	(0) 1/19/0	(0) 1/22/0	(0) 1/18/0
	PC181			(0) 1/23/0	(0) 1/27/0	(0) 1/23/0	(0) 2/33/0
	PC187	(2.8) 1/36/1	(6.7) 1/15/1	(0) 1/22/0	(0) 1/9/0	(0) 1/18/0	(21.7) 1/23/5
	PC188	(5.0) 1/20/1	(6.3) 1/16/1	(16.7) 1/6/1	(0) 1/18/0	(0) 1/26/0	(0) 1/21/0
Belgium	PC44	(70) 1/10/7	(0) 1/36/0	(14.3) 1/14/2	(63.6) 1/22/14	(0) 1/24/0	(0) 1/15/0
France	PC49	(50) 1/12/6	(0) 1/28/0		(26.7) 1/15/4	(0) 1/19/0	(0) 2/36/0
	PC259				(0) 1/21/0	(0) 4/33/0	
Spain	PC50	(0) 1/26/0	(0) 1/7/0	(0) 1/15/0	(0) 1/7/0		(0) 1/12/0
Canada	PC291	(0) 1/15/0	(31.3) 2/16/5	(0) 1/19/0	(0) 1/17/0	(0) 1/23/0	(0) 1/23/0
雑草 (Romania)	PC47	(0) 1/16/0	(0) 1/12/0	(0) 1/16/0	(0) 1/6/0	(0) 1/19/0	(0) 3/25/0

表 6.28.　雑種第一代 F_1 の種子発芽比（発芽数／播種数）と花粉稔性（%）

地域	栽培番号	PC259 France	PC247 Central Asia	PC488 India	PC316 China	PC480 Japan	PC47 雑草
Japan	PC5		3/3(95.9)	1/1		1/1	
	PC11		1/1(97.1)	1/1	2/3(86.1)		1/1
	PC57-2		2/2(90.7)	6/7(87.9)		1/3(78.1)	0/1
	PC166	1/2			2/2	2/3	
	PC203		1/1		1/1(97.1)	2/3	
	PC211						
	PC229						
	PC232		3/3(94.4)			1/1(86.3)	0/2
	PC235						
	PC480				1/2		
Korea	PC33		2/3	0/1	1/6	7/7	
	PC35					1/2	
	PC169	1/1nec1(96?)	2/2			0/3	
China	PC36				7/7	1/1	
	PC52	1/1	2/2(83.7)		1/1	0/1	5/5(91.1)
	PC53	1/1(89.9)	1/1(94.6)				4/4(97.2)
	PC112			2/2(99.2)	3/3		
	PC197						
	PC316						
Monglia	PC110	3/9nec1					
	PC115		3/3nec1(94)	1/1(87.7)	1/2(97.4)	7/7	
Central Asia	PC247		?/1			1/3(94)	?/1
	PC257					1/1nec1	
	PC275						
	PC302						
Afghanistan	PC37	1/1(97.6)					6/9(91.6)
	PC39	0/1					
	PC156					2/2(96)	
	PC160					2/2	
Pakistan	PC443	1/1					
	PC451		4/4(95.3)			1/6	1/1(96.8)
	PC455						
	PC458				2/2	2/3	
	PC494					0/1	
	PC496			1/1(97)			
	PC505	1/2(94.8)		0/1	1/1(97.7)		
India	PC339			6/7(81.8)	1/3(97.6)		1/1
	PC350					1/1(100)	
	PC354		1/1	1/2(94.9)			?/1
	PC366		4/5			2/3	2/2(96.6)
	PC392	3/4(95.4)	5/5(89.9)	1/2(95)	1/1(97)		1/1(84.9)
	PC441						
	PC486	4/4				7/8	
	PC488					2/3(91.3)	
Nepal	PC51		1/1			2/2	
	PC67						
	PC326						
Bangladesh	PC312						
Turkey	PC99				1/1(95.4)	3/4(98.6)	
Greece	PC222						4/4(85.2)
Romania	PC45	2/2(97)		1/1(95.2)	2/2(98.3)		
Yugoslavia	PC239				1/1(100)		
Czechoslovakia	PC116						
Blugaria	PC139	1/1(100)	1/2(95.2)		1/1(100)		
Russia	PC243						
	PC263				1/2nec1		
	PC282				13/15nec1(93.6)	3/3(94)	
	PC305					1/1	
Poland	PC265				1/4(85.5)	3/4(91.5)	
Germany	PC179			1/1			
	PC181						
	PC187	1/1	1/1(93.9)				4/5(79.3)
	PC188	1/1	1/1	1/1nec1			
Belgium	PC44	5/7(94.6)		2/2(98.7)	14/14(98.1)		
France	PC49	6/6(94.5)			2/4(93.1)		
	PC259						
Spain	PC50						
Canada	PC291		5/5(93.9)				
雑草 (Romania)	PC47						

分数値は播種種子数に対する発芽種子数。necは壊死を示す。

() 内は花粉稔性を示す。

③人為雑種第一代 F_1 の形態的形質の特性

栽培者がキビの人為選択を行うのは、主に外部の形態的形質である。そこで表 6.29 から表 6.36 までに、穂型、早晩性、主稈葉数、草丈、分けつ数、穎果色、柱頭色、穂首の有毛性について、個別に詳細な結果を示した。さらに、表 6.37 には雑種第一代のそれら形態的形質をまとめて示した。

キビの穂型は栽培者にとっては最も目につく重要な形態的形質であり、図 6.1 で基本的なタイプについて比較して示した。これに加えて、Lysov（ЛЫСОВ 1968）の著作から整理し、アジア地域の穂型の分布を要約して図 6.18 に示した。この図では中央アジアに密穂型、モンゴル・ブリヤートに疎穂型、東アジア・日本に寄穂型が典型的な穂型として提示されている。カザフスタンから天山までを含む、中央アジアあるいはトルキスタンにおける穂型は著しい変異に富んでいるように見える。実際、6.2 節ですでに示したように中央アジアの収集系統の穂型の変異は著しい。東アジア、特に日本のキビの寄穂型は変異性に乏しいが、栽培植物の穂型としてはとても洗練されている。北海道ではキビをイナキビと呼称しているように、本州から導入された系統の大きな穂はイネの穂のように熟すと垂れ下がる寄穂型である。Lysov はヨーロッパのキビの穂については述べていないが、典型的な穂型は図 6.1 に示した（Gerarde 1597）。

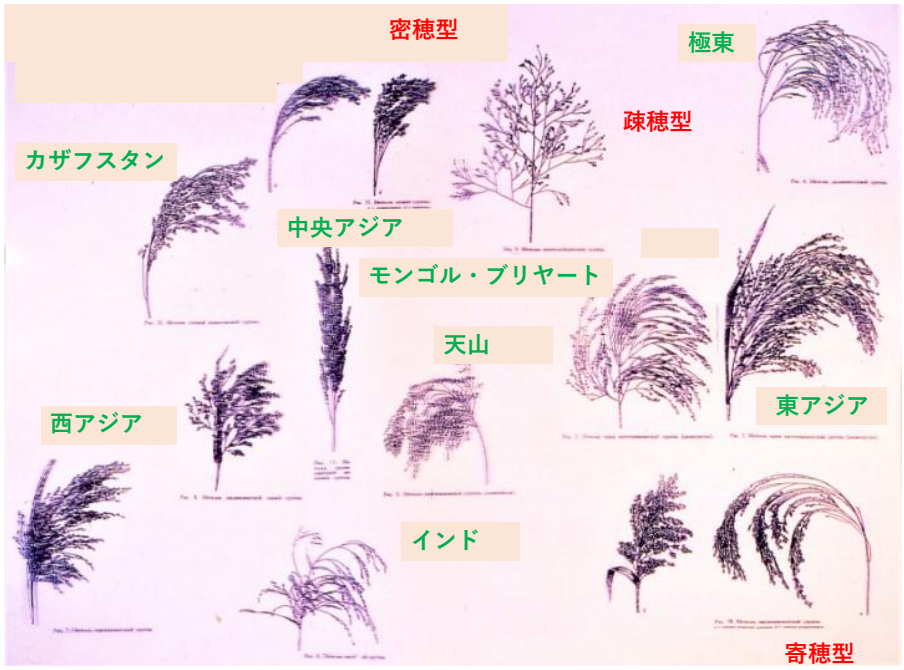


図 6.18.　アジア地域のキビの穂型の変異（ЛЫСОВ、B.H. 1968 を改変）

そこで、図 6.1 および図 6.18 を参照して、表 6.29 に示した 30 組合せの雑種第一代の穂型の変異を検討する。平穂型間での交雑では雑種第一代 F_1 は平穂型に、寄穂型間

の交雑では寄穂型に、中間型との交雑では平穂型から中間、寄穂型までの広い変異が見られた。この結果からは、平穂型は寄穂型に対して顕性であるが、中間型としての変異の幅は大きく、連続的である。例外として、フランスの系統 PC49 はともに中間型テスター（フランス PC259、中国 PC316）間の交雑で寄穂型となった。

良好に生育した雑種第一代 87 系統の開花までの日数の変異については表 6.30 に示した。開花までの日数が 60～79 日の晩生の種子親は花粉親テスターPC480 日本（63.7 日）を含めて、どの系統であっても、同程度の日数以下 41～60 日の中生を示した。開花までの日数が 27～59 日の早生や中生の系統も開花までの日数が同程度の日数以下を示すことが多く、全般的に見て、雑種第一代の開花までの日数は短くなる傾向にあった。

雑種第一代 82 系統の主稈の葉数の変異については表 6.31 に示した。種子親および花粉親が 12 枚以上の葉数の場合、雑種第一代は葉数が多い傾向にある。しかしながら、例外的に葉数がさらに多い（たとえば、PC33）、または少ない（PC339）場合も見られた。

良好に生育した雑種第一代 30 系統の草丈の変異は表 6.32 に示した。計測系統数が少ないのは腊葉標本からの測定を保留しているからである。ここに示した実験結果の範囲では、雑種第一代の草丈は種子親および花粉親の系統の草丈よりほとんどが低く、雑種弱勢を示している。

雑種第一代の発芽、生育した系統のうちで、昆虫により食害を受けた系統を除いて、合計 84 系統の分けつ数を計測した（表 6.33）。種子親および花粉親で分けつ数が多い系統はインドに多く、どちらを親にしても F_1 の分けつ数が多い系統は PC366、PC486、PC488 であった。他方、種子親あるいは花粉親の系統で分けつ数が少なくても、F_1 の分けつ数が多い系統は PC5（北海道）、PC57-2（北海道）、PC169（韓国）、PC170（ルーマニア）、PC247（カザフスタン）、PC263（ロシア）であった。

雑種第一代の穎果の色の変異については表 6.46 に示した。27 系統のみ観察した。花粉親テスター系統は 6 系統とも穎果色は白から薄茶色であった。そこで種子親の穎果色が雑種第一代にどのように影響するかということになる。おおかたは種子親の穎果色よりも薄くなり、薄茶色から象牙色になることが多い。暗褐色の穎果をもつ種子親系統でも同様であったが、例外は種子親 PC57-2 暗褐色と花粉親 PC488 薄茶色、PC480 薄茶色との雑種 F_1 では暗褐色になる個体が多かった。

雑種第一代の柱頭色の変異については表 6.35 に示した。種子親および花粉親 PC488 のどちらかが赤紫色の柱頭色である場合は雑種第一代の柱頭色は赤紫色になることが多い。しかしながら、種子親と花粉親のどちらかが赤紫色の柱頭であっても、雑種第一代の系統では、薄紫、混合、あるいは白すら出現している。反対に、種子親と花粉親が薄紫色と白色の柱頭であっても、おおかたの雑種第一代系統は両親と同じ白から薄紫色であるが、時々、赤紫色の柱頭も出現する。すなわち、柱頭色では赤紫色だけが一つの主動遺伝子で顕性というわけではないようだ。第 5 章で述べたハトムギの柱頭色の発現と同じで、補足遺伝子があると考えられる。

表 6.29.　雑種第一代 F_1 の穂型

地域	栽培番号（花粉親）		PC259	PC247	PC488	PC316	PC480	PC47
			France	Central Asia	India	China	Japan	雑草
	（種子親）	穂型	中間型sd	中間型sd	平穂型	中間型sd	寄穂型	平穂型
Japan	PC5	寄穂型						
	PC11	平穂型		?		平穂型②		
	PC57	平穂型		中間型sd②	平穂型⑥		中間型ds	
	PC166	寄穂型						(s)②
	PC203	寄穂型				中間型ds		
	PC211	寄穂型						
	PC229	寄穂型						
	PC232	寄穂型		寄穂型②			寄穂型	
	PC235	寄穂型						
	PC480	寄穂型					-	
Korea	PC033	寄穂型						
	PC035	寄穂型						
	PC169	寄穂型						
China	PC036	中間型ds						
	PC52	中間型sd						
	PC53	中間型sd						
	PC112	平穂型			平穂型②			
	PC197	平穂型						
	PC316	中間型sd						
Monglia	PC110	中間型sd						
	PC115	中間型sd		寄穂型②		中間型ds		
Central Asia	PC247	中間型sd					寄穂型	
	PC257	寄穂型						
	PC275	平穂型						
	PC302	平穂型						
Afghnistan	PC37	平穂型						
	PC39	平穂型						
	PC156	平穂型					平穂型②	
	PC160	平穂型						
Pakistan	PC443	中間型sd						
	PC451	平穂型						
	PC455	平穂型						
	PC458	平穂型						
	PC494	平穂型						
	PC496	混合s(d)						
	PC505	中間型sd						
India	PC339	平穂型			平穂型⑥	平穂型		
	PC350	平穂型					平穂型	
	PC354	平穂型			平穂型			
	PC366	平穂型						
	PC392	平穂型	平穂型②		平穂型①			
	PC441	平穂型						
	PC486	平穂型						
	PC488	平穂型					中間型ds②	
Nepal	PC51	寄穂型						
	PC67	寄穂型						
	PC326	寄穂型						
Bangladesh	PC312	平穂型						
Turky	PC099	平穂型					平穂型③	
Greece	PC222	平穂型						
Romania	PC45	平穂型	中間型sd, s			平穂型②		
	PC170	寄穂型						
Yugoslavia	PC239	中間型sd				平穂型		
Czechoslovakia	PC116	中間型sd						
Blugaria	PC139	寄穂型	中間型sd			中間型sd		
Russia	PC243	中間型sd						
	PC263	中間型sd						
	PC282	平穂型						
	PC305	平穂型						
Poland	PC265	平穂型				平穂型		
Germany	PC179	中間型sd						
	PC181	中間型sd						
	PC187	平穂型						
	PC188	平穂型						
Belgium	PC44	平穂型	中間型ds⑤					
France	PC49	中間型sd	寄穂型⑥			寄穂型②		
	PC259	中間型sd						
Spain	PC50	中間型sd						
Canada	PC291	平穂型						
雑草 (Romania)	PC47	平穂型						

○は個体数。穂型：dは寄穂型、sdは疎らな寄穂中間型、dsは密な平穂中間型、sは平穂型。

表 6.30.　雑種第一代 F_1 の開花までの日数

地域	栽培番号（花粉親）		PC259	PC247	PC488	PC316	PC480	PC47
			France	Central Asia	India	China	Japan	雑草
	（種子親）	日数	37.6	36.2	43.8	47.8	63.7	37.6
Japan	PC5	54.5		38.5②			44	
	PC11	35.8		48		41②		
	PC57-2	29		34②	39.7⑥		37	40
	PC166	68	58			48②		(37)②
	PC203	56		44		49	58	
	PC211	60.2						
	PC229	64.6						
	PC232	53.0		56②			62	
	PC235	63.0						
	PC480	63.7				51		
Korea	PC33	51.0			61	44	52.4⑤	
	PC35	58.4						
	PC169	60.2	43	41				
China	PC036	47.4				41.8④	43	
	PC52	31.2		28②		33.8④		31⑤
	PC53	32.0	28	32				
	PC112	37.0			44②			
	PC197	27.4						
	PC316	47.8						
Monglia	PC110	53.0	43.5②					
	PC115	33.2		40.5②	36	45	47.1⑦	
Central Asia	PC247	36.2					51①	
	PC257	29.8						
	PC275	28.0						
	PC302	29.6						
Afghanistan	PC37	48.2	35					36.5⑥
	PC39	47.0						
	PC156	33.4					45.5②	
	PC160	46.0					43	
Pakistan	PC443	58.5	44					
	PC451	40.0		36.3④				34
	PC455	48.0						
	PC458	59.3				44.5②		
	PC494	52.8						
	PC496	45.2			39			
	PC505	39.8	38②			41		
India	PC339	54.4			49.3⑥	46		49
	PC350	71.0					56	
	PC354	44.2		47	47			
	PC366	79.0					60	39.5②
	PC392	45.5	43.5②	42③	44	37		36
	PC441	67.3						
	PC486	52.6	48.3③				53.4⑦	
	PC488	43.8					51.0②	
Nepal	PC51	52.0		44			27	
	PC67	55.0						
	PC326	54.2						
Bangladesh	PC312	53.2						
Turky	PC99	45.0					46.7③	
Greece	PC222	42.4						37.3③
Romania	PC45	39.8	47.5②		37	45.5②		
	PC170	43.6	38					38.0②
Yugoslavia	PC239	38.0				46		
Czechoslovakia	PC116	37.6						
Blugaria	PC139	39.4	45	36		46		
Russia	PC243	39.2						
	PC263	32.0						
	PC282	37.6					42.3③	
	PC305	38.0						
Poland	PC265	33.4				42	39③	
Germany	PC179	38.2						
	PC181	30.0						
	PC187	33.8		34				38.7③
	PC188	34.8						
Belgium	PC44	34.4	40.4⑤		36.5②	35.1⑭		
France	PC49	38.4	42.3⑥			43.5②		
	PC259	37.6						
Spain	PC50	29.0						
Canada	PC291	30.8		36.3③				
雑草 (Romania)	PC47	37.6						

○内は個体数○がないのは1個体。日数は平均値。

表 6.31.　雑種第一代 F_1 の主稈葉数の変異

地域	栽培番号（花粉親）		PC259	PC247	PC488	PC316	PC480	PC47
			France	Central Asia	India	China	Japan	雑草
	（種子親）	葉数	9.2	7.8	10.2	12.5	16.5	9.2
Japan	PC5	12.5		11.5②			13	
	PC11	7.6		?		7.5②		
	PC57-2	?		5.5②	8.0⑥		?	12
	PC166	14.2	15			14.0②	14.5②	(?)②
	PC203	12.6		12		9	13.5②	
	PC211	14.4						
	PC229	14.6						
	PC232	13.2		11②			12	
	PC235	15.8						
	PC480	16.5				14		
Korea	PC33	12.4			17	14	14.6⑤	
	PC35	14.6						
	PC169	15.5	11	12				
China	PC36	13				14.0④	14	
	PC52	6.2		6②		8.8④		8.0⑤
	PC53	6	7	7				
	PC112	8.8			9.5②			
	PC197	5						
	PC316	12.5						
Monglia	PC110	13.2	10.5②					
	PC115	6.6		8.0②	10	9	12.6⑦	
Central	PC247	7.8					?	
	PC257	5.4						
	PC275	5.6						
	PC302	6						
Afghnist	PC37	12	12					11.2⑥
	PC39	11.7						
	PC156	10.4					9.5②	
	PC160	10.6					13.0②	
Pakistan	PC443	12.5	13					
	PC451	9						10.0④
	PC455	10.3						
	PC458	10.6				12.0②	11.5②	
	PC494	13						
	PC496	11.8			11			
	PC505	11	11②			11		
India	PC339	13			9.5⑥	10		13
	PC350	14.3					10	
	PC354	10.8		11	8			
	PC366	?						
	PC392	10	9.7③	10.5④	8	11		10
	PC441	12						
	PC486	12	12.7③				14.4⑦	
	PC488	10.2	10.2				?②	
Nepal	PC51	13.5		12			16	
	PC67	13.2						
	PC326	14.3						
Banglade	PC312	10.5						
Turky	PC99	10.8					8.7③	
Greece	PC222	11.0						10.7③
Romania	PC45	9.8	9.5②		11	9.0②		
	PC170	10.8	10					11.0②
Yugoslav	PC239	10.6				9		
Czechosl	PC116	9.4						
Blugaria	PC139	10.0	9	9		9		
Russia	PC243	10.2						
	PC263	7.2						
	PC282	10.0					12.0③	
	PC305							
Poland	PC265	8.4				8	9.7③	
Germany	PC179	6.0						
	PC181	5.0						
	PC187	8.0		9				10③
	PC188	9.8						
Belgium	PC44	8.4	8.2⑤		11②	10.8⑭		
France	PC49	10.0	9.2⑥			9.0②		
	PC259	9.2						
Spain	PC50	6.0						
Canada	PC291	5.5		10③				
雑草（Ro	PC47	9.2						

○は個体数。

表 6.32.　雑種第一代 F_1 の草丈

地域	栽培番号(花粉親)		PC259	PC247	PC488	PC316	PC480	PC47
			France	Central Asia	India	China	Japan	雑草
	(種子親)	草丈cm	37.6		128.2	135	158.4	85.5
Japan	PC5	161.2						
	PC11	99.5		18.6		78.3②		
	PC57-2			41.4②	90.1⑥		99	
	PC166							(85.4)②
	PC203	166.8				101.5		
	PC211	178.9						
	PC229	180.6						
	PC232	190.5		135.5②			?	
	PC235	199.3						
	PC480	158.4					–	
Korea	PC33	161.1						
	PC35	186.3						
	PC169	195.5						
China	PC36	164.2						
	PC52	62.4						
	PC53	65.1						
	PC112	131.5			115.3②			
	PC197	47.7						
	PC316	135						
Monglia	PC110	169.5						
	PC115	92.7		56.0②		93.5		
Central Asia	PC247						115.5	
	PC257	50.9						
	PC275	44.8						
	PC302	36.6						
Afghnistan	PC37	107.2						
	PC39	101.8						
	PC156	116.4					66.5②	
	PC160	111.4						
Pakistan	PC443	101.5						
	PC451	112.5						
	PC455	93.8						
	PC458	113.2						
	PC494	125.4						
	PC496	150.0						
	PC505	142.3						
India	PC339	152.2			97.9⑥	111		
	PC350	143.4					105	
	PC354	134.0			82.5			
	PC366							
	PC392	117.7	98.5②		98			
	PC441	105.5						
	PC486	143.2						
	PC488	128.2					123.2②	
Nepal	PC51	158.2						
	PC67	182.9						
	PC326	185.6						
Bangladesh	PC312	120.4						
Turky	PC99	113.0					74.3③	
Greece	PC222	108.7						
Romania	PC45	98.3	88.6②			84.8②		
	PC170	130.9						
Yugoslavia	PC239	118.7				89.5		
Czechoslovakia	PC116	108.4						
Blugaria	PC139	170.0	92			92		
Russia	PC243	120.4						
	PC263	84.1						
	PC282	82.6						
	PC305	88.3						
Poland	PC265	95.3				90		
Germany	PC179	47.5						
	PC181	51.0						
	PC187	102.9						
	PC188	71.8						
Belgium	PC44	91.0	71.0⑤					
France	PC49	98.9	92.2⑥			78.5②		
	PC259	37.6						
Spain	PC50	52.5						
Canada	PC291	45.3						
雑草 (Romania)	PC47	91.7						

○は個体数。

表 6.33. 雑種第一代 F_1 分けつ数の変異

地域	栽培番号（花粉親）		PC259	PC247	PC488	PC316	PC480	PC47
			France	Central Asia	India	China	Japan	雑草
	（種子親）	分けつ数	1.6	3.8	4.0	1.2	2.6	3.0
Japan	PC5	1.8		4.5 ②	食害		6	
	PC11	2.6		2	食害	2.0 ②		食害
	PC57-2	2.2		4.0 ②	3.5 ②		4.0 ②	3.0
	PC166	1.2	2			3.0 ②	1.0 ②	
	PC203	1.0		4		1	2.0 ②	
	PC211	1.2						
	PC229	1.6						
	PC232	1.2		1.0 ②			1	
	PC235	2.4						
	PC480	2.6				2		
Korea	PC33	3.3		食害	2	3	3.4 ⑥	
	PC35	5.4						
	PC169	3.0	2	5				
China	PC36	1.0				2.3 ⑤	3	
	PC52	1.8		3.0 ②		1.5 ④		1.8 ⑤
	PC53	2.2	1	1				
	PC112	1.4			2.0 ②			
	PC197	5.2						
	PC316	1.2						
Monglia	PC110	2.2	2.5 ②					
	PC115	2.2		3.0 ②	3	1	3.0 ⑦	
Central Asia	PC247	3.8					7	
	PC257	2.0						
	PC275	3.8						
	PC302	4.2						
Afghnistan	PC37	2	4					2.5 ⑥
	PC39	5.9						
	PC156	3.6					2.5 ②	
	PC160	2.6					3.5 ②	
Pakistan	PC443	1.3	3					
	PC451	1.1		2.8 ④			x	3
	PC455	2.5						
	PC458	1.8				3.5 ②	3.0 ②	
	PC494	2.0						
	PC496	2.6			4			
	PC505	2.0	2.5 ②					
India	PC339	4.4				3	3.8 ⑥	9
	PC350	2.0					2	
	PC354	2.2		3	4			
	PC366	4.0		x			4	5.0 ②
	PC392	1.5	3.0 ②、4	2.5 ⑤	2	3		3
	PC441	2.6						
	PC486	5.6	5.0 ③				5.6 ⑦	
	PC488	4.0					6.5 ②	
Nepal	PC51	4.6		4			3	
	PC67	1.8						
	PC326	2.8						
Bangladesh	PC312	5.5						
Turky	PC99	2.8					2.3 ③	
Greece	PC222	2.5						2.3 ④
Romania	PC45	3.8	3.0 ②		3	2.5 ②		
	PC170	1.8	5					4.0 ②
Yugoslavia	PC239	3.2				3		
Czechoslovakia	PC116	1.4						
Blugaria	PC139	2.6	1	1		1		
Russia	PC243	1.6						
	PC263	5.0						
	PC282	3.0					4.0 ③	
	PC305	1.6					x	
Poland	PC265	3.6				2	2.3 ③	
Germany	PC179	1.8			x			
	PC181	4.6						
	PC187	1.8	食害	2				3.0 ④
	PC188	1.6	食害	食害				
Belgium	PC44	2.4	1.8 ⑤		4.5 ②	1.9 ⑭		
France	PC49	2.2	1.3 ⑥			1.5 ②		
	PC259	1.6						
Spain	PC50	4.4						
Canada	PC291	1.6		3.3 ③				
雑草(Romania)	PC47	3.0						

表 6.34.　雑種第一代 F_1 の穎果色

地域	栽培番号（花粉親）		PC259	PC247	PC488	PC316	PC480	PC47
	（種子親）	色	France	Central Asia	India	China	Japan	雑草
			白(p)	薄茶	薄茶	薄茶	薄茶	薄茶
Japan	PC5	暗褐						
	PC11	暗褐		茶		茶②		
	PC57-2	暗褐		茶②	混合d④b②		暗褐	
	PC166	象牙（薄紫）						(d)②
	PC203	橙						
	PC211	薄茶						
	PC229	中間i(p)						
	PC232	暗褐		②				
	PC235	薄茶						
	PC480	薄茶						
Korea	PC033	暗褐						
	PC035	象牙						
	PC169	薄茶						
China	PC036	象牙						
	PC52	暗褐						
	PC53	暗褐						
	PC112	暗褐			茶②			
	PC197	象牙						
	PC316	薄茶						
Monglia	PC110	暗褐						
	PC115	中間i(p)		象牙②		象牙		
Central Asia	PC247	薄茶					薄茶	
	PC257	薄茶						
	PC275	茶						
	PC302	薄茶						
Afghnistan	PC37	薄茶						
	PC39	薄茶						
	PC156	薄茶					薄茶②	
	PC160	薄茶						
Pakistan	PC443							
	PC451							
	PC455							
	PC458							
	PC494							
	PC496							
	PC505							
India	PC339	薄茶			薄茶⑥	薄茶		
	PC350	中間i(p)						
	PC354	薄茶			薄茶			
	PC366	中間i(p)						
	PC392	象牙	象牙②		象牙			
	PC441	薄茶（中間）						
	PC486							
	PC488	薄茶					薄茶②	
Nepal	PC51	薄茶						
	PC67	中間i(p)						
	PC326	中間i(p)						
Bangladesh	PC312	薄茶						
Turky	PC099	薄茶					薄茶③	
Greece	PC222	象牙						
Romania	PC45		象牙②			薄茶②		
	PC170	薄茶						
Yugoslavia	PC239	薄茶				象牙		
Czechoslovaki	PC116	橙						
Blugaria	PC139	薄茶	象牙			象牙		
Russia	PC243	薄茶						
	PC263	白						
	PC282	茶						
	PC305	薄茶						
Poland	PC265	茶				象牙		
Germany	PC179	中間i(p)						
	PC181	中間i(p)						
	PC187	象牙						
	PC188	茶						
Belgium	PC44	薄茶	象牙⑤					
France	PC49	象牙	象牙⑥			象牙②		
	PC259	中間i(p)						
Spain	PC50	薄茶						
Canada	PC291							
Weed (Romania	PC47	薄茶						

○は個体数。穎果色；dは暗褐色、bは茶色、pは薄茶色、iは象牙色、oは橙、wは白色。

表 6.35.　雑種第一代 F_1 の柱頭色の変異

地域	栽培番号（花粉親）		PC259	PC247	PC488	PC316	PC480	PC47
			France	Central Asia	India	China	Japan	雑草
	（種子親）	色	白	薄紫	赤紫	混合p(w)	混合w(p)	混合p(w)
Japan	PC5	赤紫		薄紫②			薄紫	
	PC11	赤紫		赤紫		赤紫②		
	PC57	w(p)		白②	赤紫⑥		混合w(p)	白
	PC166	p(w)	薄紫②			薄紫②	薄紫②	(p)②
	PC203	薄紫		薄紫		薄紫	薄紫②	
	PC211	w(p)						
	PC229	薄紫						
	PC232	薄紫		薄紫②			薄紫	
	PC235	?						
	PC480	w(p)				薄紫		
Korea	PC033	薄紫				薄紫	薄紫⑤	
	PC035	薄紫						
	PC169	薄紫	赤紫	薄紫				
China	PC036	白				薄紫④	薄紫	
	PC52	白		薄紫②		薄紫④		薄紫⑤
	PC53	白	白	薄紫				
	PC112	薄紫			赤紫②			
	PC197	薄紫						
	PC316	p(w)						
Monglia	PC110	赤紫	赤紫②					
	PC115	赤紫		赤紫②	赤紫	赤紫	赤紫	
Central Asia	PC247	薄紫					赤紫	
	PC257	白						
	PC275	薄紫						
	PC302	赤紫						
Afghnistan	PC37	赤紫						赤紫⑥
	PC39	赤紫						
	PC156	赤紫					赤紫②	
	PC160	赤紫					赤紫	
Pakistan	PC443	赤紫	薄紫					
	PC451	赤紫		p③r				薄紫
	PC455	赤紫						
	PC458	p(w)				薄紫②	薄紫②	
	PC494	赤紫						
	PC496	赤紫			赤紫			
	PC505	w(p)	混合 r p			薄紫		
India	PC339	赤紫			赤紫⑥	赤紫		赤紫
	PC350	赤紫					赤紫	
	PC354	白		薄紫	赤紫			
	PC366	赤紫						薄紫②
	PC392	r(p)	混合p② r	赤紫③	赤紫	赤紫		赤紫
	PC441	赤紫						
	PC486	赤紫	混合 r ② p				赤紫⑦	
	PC488	赤紫					赤紫②	
Nepal	PC51	白		赤紫			赤紫	
	PC67	白						
	PC326	白						
Bangladesh	PC312	薄紫						
Turky	PC099	薄紫					混合p②w	
Greece	PC222	薄紫						赤紫③
Romania	PC45	白	混合wr		白	薄紫②		
	PC170	薄紫	赤紫					薄紫②
Yugoslavia	PC239	白				白		
Czechoslovakia	PC116	赤紫						
Blugaria	PC139	薄紫	白	薄紫		白		
Russia	PC243	薄紫						
	PC263	白						
	PC282	r(p)					赤紫③	
	PC305	赤紫						
Poland	PC265	赤紫				赤紫	赤紫③	
Germany	PC179	白						
	PC181	白						
	PC187	白		薄紫				薄紫③
	PC188	赤紫						
Belgium	PC44	白	混合p②w②r		赤紫	薄紫⑭		
France	PC49	r(w)	白⑥			白②		
	PC259	白						
Spain	PC50	白						
Canada	PC291	白		赤紫③				
雑草（Romania）	PC47	薄紫						

○は個体数。柱頭色：白w、薄紫p、赤紫r、

キビの植物体は一般に密な繊毛におおわれているが、穂首の有毛性については著しい変異があり、この特性を、無毛、有毛、多毛および著しく多毛の 4 型に分類した（表 6.36）。穂首が多毛な系統間（たとえば、PC45、PC49、PC392）の雑種第一代は例外 PC44（無毛）の他は多毛であった。花粉親テスター（PC247 中央アジア、PC316 中国、PC480 日本）との雑種第一代はおおかたで無毛であったが、少しの例外は PC11、PC339、PC45 で、幾分か有毛であった。有毛あるいは多毛の系統と多毛な花粉親テスターPC488 インドの間の雑種第一代は無毛から多毛まで広い変異を示した。他方で、無毛の PC5 日本北海道と有毛の花粉親テスターPC488 との雑種第一代は無毛であった。雑種第一代の穂首の有毛性の変異について、種子親と花粉親が穂首に多くの毛を有している場合は、雑種第一代系統は多毛になる場合が多い。しかしながら、種子親が多毛であっても、雑種第一代系統が無毛になること、また、種子親が無毛であれば雑種第一代は無毛が多いが、まれに種子親が無毛であっても雑種第一代系統が有毛を発現する場合も見られた。

改めて、雑種第一代 125 系統における形態的形質の計測結果のまとめを表 6.37 に示した。なお、数値の空欄は腊葉標本からの計測が未完であるためである。栽培個体数が多く、生態で計測するべき形質を優先して、後日の計測を期していたからである。

表 6.36.　雑種第一代 F_1 の穂首の有毛性

地域	栽培本郷（花粉親）		PC259	PC247	PC488	PC316	PC480	PC47
			France	Central Asia	India	China	Japan	雑草
	（種子親）	有毛性	多毛	無毛	著しく多毛	無毛	無毛	有毛
Japan	PC5	無毛						
	PC11	多毛		多毛		混合m, h		
	PC57-2	多毛		無毛②	無毛⑥		無毛	
	PC166	多毛						(g)②
	PC203	無毛				有毛		
	PC211	無毛						
	PC229	多毛						
	PC232	無毛		有毛②			?	
	PC235	多毛						
	PC480	無毛						
Korea	PC033	多毛						
	PC035	無毛						
	PC169	無毛						
China	PC036	無毛						
	PC52	多毛						
	PC53	多毛						
	PC112	著しく多毛			有毛②			
	PC197	多毛						
	PC316	無毛						
Monglia	PC110	無毛						
	PC115	無毛		無毛②		有毛		
Central Asia	PC247	無毛					無毛	
	PC257	無毛						
	PC275	無毛						
	PC302	無毛						
Afghnistan	PC37	多毛						
	PC39	多毛						
	PC156	多毛					無毛②	
	PC160	多毛						
Pakistan	PC443	著しく多毛						
	PC451	無毛						
	PC455	著しく多毛						
	PC458	著しく多毛						
	PC494	著しく多毛						
	PC496	著しく多毛						
	PC505	著しく多毛						
India	PC339	多毛			多毛⑥	多毛		
	PC350	多毛						
	PC354	無毛			無毛			
	PC366	多毛						
	PC392	著しく多毛	多毛②		多毛			
	PC441	著しく多毛						
	PC486	著しく多毛						
	PC488	著しく多毛					無毛②	
Nepal	PC51	著しく多毛						
	PC67	多毛						
	PC326	多毛						
Bangladesh	PC312	著しく多毛						
Turky	PC099	多毛					無毛③	
Greece	PC222	無毛						
Romania	PC45	著しく多毛	著しく多毛②			混合m, h		
	PC170	著しく多毛						
Yugoslavia	PC239	無毛				無毛		
Czechoslovakia	PC116	多毛						
Blugaria	PC139	無毛	無毛			無毛		
Russia	PC243	無毛						
	PC263	無毛						
	PC282	無毛						
	PC305	無毛						
Poland	PC265	多毛				無毛		
Germany	PC179	多毛						
	PC181	無毛						
	PC187	多毛						
	PC188	多毛						
Belgium	PC44	多毛	著しく多毛⑤					
France	PC49	著しく多毛	著しく多毛⑥			混合g, p		
	PC259	多毛						
Spain	PC50	多毛						
Canada	PC291	無毛						
雑草（Romania）	PC47	有毛						

○は個体数。gは無毛、pは有毛、mは多毛、hは著しく多毛。

3）雑種第二代 F_2 の実験結果

雑種第一代で良好な生育をした6系統について形態的形質の特性を表6.37にまとめ、これらの系統の穂に袋掛けをして、他家受粉を防ぎ自家受精 self-fertilization させて、雑種第二代の形質分離の計測に用いた。形態的形質の分離を見るために、多くの種子が得られた次の雑種第二代5系統を栽培して得た計測データを次に示す。雑種第一代の５系統は、PC1F1、PC1F4、PC1F7、PC1F10-1、PC10-2、これらの自家受精系統である雑種第二代 F_2 は、PCF2-1、PCF2-4、PCF2-7、PCF2-10-1、PCF2-10-2 である。

表 6.37.　雑種第一代の形態的形質の要約

栽培番号	種子親	花粉親	開花までの日数	有毛性	有効分けつ数	柱頭色	穂型	穎果色	脱粒性	草丈　cm
PC1F1	PC5	PC339	46	無毛	1	赤紫	中間ds	黒褐	ない	121
PC1F2	PC47	PC166	37	無毛	1	薄紫	平穂型	黒褐	ある	85.4
PC1F3	PC57-2	PC488	37	無毛	1	赤紫	平穂型	黒褐	ややある	82
PC1F4	PC57-2	PC480	37	無毛	1	白～薄紫	中間ds	黒褐	ややある	99
PC1F7	PC247	PC480	51	無毛	1	赤紫	寄穂型	薄茶	ない	115.5
PC1F10	PC488	PC480	51	無毛	6.5	赤紫	中間ds	薄茶	ない	123.2

種子発芽率は表 6.38 に示した。PCF2-4 の発芽は不良（12.5%）で、個体数も少なかったので除外し、他の４系統は 72%以上の発芽率で、100 個体以上が生育した。そこで、雑種第二代の形態的形質の分離を見る実験観察には PCF2-1、PCF2-7、PCF2-10-1 および PCF2-10-2 を用いた。

表 6.38.　雑種第二代 F_2 の発芽率

栽培番号	播種数	発芽数	発芽率%
PCF2-1	181	148	81.8
PCF2-4	24	3	12.5
PCF2-7	288	275	95.5
PCF2-10-1	351	255	72.6
PCF2-10-2	148	128	86.5

雑種第二代の穂型の分離は表 6.39 に示した。PCF2-1 では平穂型と寄穂型に分離する傾向が認められた。F_1 の PC1F1 は中間型 ds、種子親 PC5 は寄穂型、花粉親 PC339 は平穂型であるので、両親の穂型に分離していると見られる。PCF2-7 では平穂型から密穂型まで変異の幅が広いが、寄穂型（68.5%）は分離比が大きかった。F_1 の PC1F7 は寄穂型で、種子親 PC247 は中間型 sd、花粉親 PC480 は寄穂型であるので、この結果からは寄穂型は顕性と見える。PCF2-10-1 および PCF2-10-2 は類似の傾向を示し、平穂型への分離がそれぞれ 67.8%と 60.0%であった。F_1 は中間型 ds で、種子親 PC488 は平穂型、花粉親 PC480 は寄穂型であり、この結果では平穂型が顕性と見える。また、3 系統において若干の密穂型が現れたが、PCF2-7 では分離（8.0%）が多く見られた。

したがって、疎穂型は主動遺伝子のみで決まるのではなく、連続的な変異をもたらすような遺伝的含みがあると考えられる。

表 6.39.　雑種第二代 F_2 の穂型の分離

穂型	PCF2-1	PCF2-7	PCF2-10-1	PCF2-10-2
平穂型	33	11	164	69
中間ds	53	52	75	42
中間sd		1		
寄穂型	56	187	1	4
密穂型	3	22	2	
n/a	4	3	12	3
合計	149	276	254	118

雑種第二代の穂長の分離は表 6.40 に示した。4 系統とも 31～40 ㎝に多くの分離個体数が見られる。PCF2-1 は変異幅が狭く、種子親 PC5 の穂長が 38.2 ㎝、花粉親 PC339 の穂長が 33.2 ㎝であることから妥当な分離である。PCF2-7 の穂長平均は 34.9 ㎝で変動係数は 19.0 であり、PCF2-10-1 の平均穂長は 33.1 ㎝で、変動係数は 20.5 で、変異幅が大きい。PCF2-10-2 の穂長平均は 36.7 ㎝で、変動係数は 13.2 で変異幅は大きくなかった。

{注：PCF2-7 の穂長親との比較は標本を計測必要、種子親 PC247　花粉親 PC480。同じく、PCF2-10-2 の穂長種子親 PC488　花粉親 PC480。}

表 6.40.　雑種第二代 F_2 の穂長の分離

穂長　㎝	PCF2-1	PCF2-7	PCF2-10-1	PCF2-10-2
-10			1	
11-15		3	5	1
16-20		6	11	1
21-25	10	19	15	1
26-30	20	39	41	5
31-35	58	73	77	38
36-40	42	85	69	46
41-45	8	40	16	17
46-50		4	3	2
n/a	11	7	16	7
合計	149	276	254	118
平均	34.1	34.9	33.1	36.7
標準偏差	4.7	6.7	6.8	4.9
変動係数	13.8	19	20.5	13.2

開花までの日数は表 6.41 に示した。雑種第二代 PCF2-1 の平均値は 50.5 日、F_1 の PC1F1 は 46.5 日、種子親 PC5 は 54.5 日、花粉親 PC339 は 54.4 日であったので、F_1 で早熟方

向に８日ほど振れ、F_2で両親方向に４日ほど揺れ戻している。PCF2-7 の平均値は 44.0 日で早生方向に、F_1の PC1F7 は 51 日、種子親 PC247 は 36.2 日、花粉親 PC480 は 63.7 日であったので、F_2ではさらに種子親の方向へと早熟化に振れている。PCF2-10-1 の平均値は 51.5 日だが晩生方向に、F1 の PC1F10 は 51 日、種子親 PC488 は 43.8 日、花粉親 PC480 は 63.7 日であったので、この系統の場合は、両親の中間ほどに多くが分離している。さらに、PCF2-10-2 の平均値は 51.0 日だが、変動係数（9.7）は低かった。

表 6.41.　雑種第二代 F_2 の開花までの日数の分離

開花までの日数	PCF2-1	PCF2-7	PCF2-10-1	PCF2-10-2
21-30		15		
31-40		70	1	
41-50	90	131	127	64
51-60	49	53	102	44
61-70	3	3	20	7
71-80	5		1	
n/a	2	4	3	3
合計	149	276	254	118
平均	50.5	44.0	51.5	51.0
標準偏差	6.5	7.8	5.0	5
変動係数	12.8	17.8	9.8	9.7

成熟時の主稈葉数は表 6.42 に示した。4 系統とも 11～13 枚の個体が多い。PCF2-1 の平均値は 12.7 枚で、F_1の PC1F1 は 8 枚、種子親 PC5 は 12.5 枚、花粉親 PC339 は 13 枚であったので、F_1 では減少し、F_2 では両親の値方向に戻っている。PCF2-7 の平均値は 10.2 枚、F_1の PC1F7 は不記載、種子親 PC247 は 7.8 枚、花粉親 PC480 は 16.5 枚であり、F_2は少ない方に偏っていたが、変動係数（18.8）は大きかった。PCF2-10 の 2 系統とも平均値は 11.9～12.0 枚で、F_1の PC1F10 は不記載、種子親 PC488 は 10.2 枚、花粉親 PC480 は 16.5 枚であり、やはり F_2の 2 系統は少ない枚数方向に偏って分離していた。

表 6.42.　雑種第二代 F_2 の主稈葉数の分離

主稈の葉数	PCF2-1	PCF2-7	PCF2-10-1	PCF2-10-2
5-7		29		
8-10	4	114	28	15
11-13	97	114	181	88
14-16	45	10	30	12
n/a	3	9	15	3
合計	149	276	254	118
平均	12.7	10.2	12.0	11.9
標準偏差	1.7	1.9	1.3	1.3
変動係数	13.0	18.8	10.7	10.5

草丈は表 6.43 に示した。４系統とも 121～160 cmに多くの分離個体数がある。F_2 の PCF2-1 は平均値が 139.2 cm、F_1 の PC1F1 は 121.0 cm、種子親 PC5 は 161.2 cm、花粉親 PC339 は 152.2 cmであり、F_1 も F_2 も両親より草丈は短くなっている。F2 の PCF2-7 には著しい変異幅が見られ、草丈の平均値は 131.3 cmで変動係数（27.8）も大きく、F_1 の PC1F7 は 115.5 cm、種子親 PC247 は未測定、花粉親 PC480 は 158.4 ので、F_1 よりも F_2 は両親方向に傾いた変異を示している。

PCF2-10 の 2 系統ではいくぶん異なった傾向が見られた。F_2 である PCF2-10-1 の草丈は平均値 130.0cm（変動係数 29.2）、PCF2-10-2 は 149.4 cm（変動係数 10.5）であった。また、F_1 の PC1F10 は 123.2 cm、種子親 PC488 は 128.2 cm、花粉親 PC480 は 158.4 cmであった。したがって、PCF2-10-1 は種子親の方向に、PCF2-10-2 は花粉親の方向に分離が偏っていることを示している。

表 6.43.　　雑種第二代 F_2 の草丈の分離

草丈　cm	PCF2-1	PCF2-7	PCF2-10-1	PCF2-10-2
21-40		2	8	1
41-60		6	7	
61-80	2	17	13	2
81-100	5	34	24	3
101-120	24	44	27	8
121-140	38	52	51	22
141-160	46	47	62	38
161-180	22	53	43	27
181-200	1	14	9	12
201-220	1	2		
221-240		1		
n/a	10	4	10	5
合計	149	276	254	118
平均	139.2	131.3	130.0	149.4
標準偏差	23.7	36.5	37.9	1.3
変動係数	17.0	27.8	29.2	10.5

有効分けつ数は表 6.44 に示した。F_2 の PCF2-1 の分けつ数の平均値は 2.9 であるが変異の幅が広く（変動係数 34.9）、F_1 の PC1F1 は 1.0、種子親 PC5 は 1.8、花粉親 PC339 は 4.4 であったので、F_1 で有効分けつ数は減少し、F_2 で回復する方向に分離している。PCF2-7 の平均値は 2.1（変動係数 43.0）で、F_1 の PC1F7 は 1、種子親 PC247 は 3.8、花粉親 PC480 は 2.6 で、F_1 で分けつ数は減少し、F2 で回復方向に分離している。

PCF2-10 の 2 系統は平均値がそれぞれ 2.2（変動係数 44.7）と 2.3（変動係数 38.8）であった。F_1 の PC1F10 は 6.5、種子親 PC488 は 4.0、花粉親 PC480 は 2.6 であったので、F2 の 2 系統では花粉親に近づくような分離を示した。

表 6.44.　雑種第二代 F_2 の有効分けつ数の分離

有効分けつ数	PCF2-1	PCF2-7	PCF2-10-1	PCF2-10-2
1-2	53	194	164	70
3-4	86	76	78	46
5-6	7	3	3	
7-8	1			
n/a	2	3	9	2
合計	149	276	254	118
平均	2.9	2.1	2.2	2.3
標準偏差	1.0	0.9	1.0	0.9
変動係数	34.9	43.0	44.7	38.8

穎果色の分離は表 6.45 に示した。PCF2-1 の穎果色は暗褐色（48%ほど）が半数ほどを占めるが、象牙（白）色に至るまでの著しく多様な色調の連続的な変異を示した。少数ではあるが灰茶色と灰緑色が出現している点は興味深い。F_1 である PC1F1 は褐色、種子親 PC5 は暗褐色、花粉親 PC339 は薄茶色であったので、種子親の方向への分離が見られた。PCF2-7 は薄茶色（88%）がほとんどで、F1 の PC1F7 は薄茶色、種子親 PC247 は薄茶色、花粉親 PC480 は薄茶色であったので、妥当な色調であったが、稀に褐色と象牙色が分離していたのは興味深い。PCF2-10-1 は薄茶色と象牙色とはほぼ 1:2 に分離し、PCF2-10-2 は同じく薄茶色と象牙色はおおよそ 1:1 に分離していた。F1 の PC1F10 は薄茶色で、種子親 PC488 および花粉親 PC480 も同じく薄茶色であった。したがって、穎果色はかなり量的な形質であることがうかがわれる。

表 6.45.　雑種第二代 F_{25} 穎果色の分離

穎果色	PCF2-1	PCF2-7	PCF2-10-1	PCF2-10-2
黒褐	72			
褐	30	20		2
薄茶	21	243	84	65
灰茶	3			
灰緑	7			
象牙（白）	13	9	154	47
n/a	3	4	16	4
合計	149	276	254	118

止葉長と止葉幅の長さについては表 6.46 と表 6.47 に示した。止葉は光合成を最後まで続ける葉である。PCF2-1 の止葉長は平均値で 33.9 cm、止葉幅は 1.5 cm、F1 である PC1F1 はそれぞれ 43.5 cmと 2.0 cmであった。PCF2-7 の止葉長は平均値で 37.1 cm、止葉幅は 1.9 cmで、変異の幅が広く変動係数（28.9）が大きい。PCF2-10-1 の止葉長は平均値で 31.9 cm、止葉幅は 1.6 cmで、変異の幅が広く変動係数（31.2）が大きい。一方、PCF2-10-2 の止葉長は平均値で 36.7 cm、止葉幅は 1.5 cmで、いくぶん変異の幅が狭く変動係数（16.8 と 20.0）が小さい。したがって、止葉の長さと幅は変異が大きく、不

安定な形態的形質である。

表 6.46.　雑種第二代 F_2 の止葉長の分離

止葉長　cm	PCF2-1	PCF2-7	PCF2-10-1	PCF2-10-2
-10		3	2	
11-15	1	3	9	
16-20	2	1	10	
21-25	6	11	14	5
26-30	17	23	21	6
31-35	27	44	33	23
36-40	23	51	42	21
41-45	10	38	19	23
46-50	4	20	2	1
51-		3	1	
n/a	59	79	101	39
合計	149	276	254	118
平均	33.9	37.1	31.9	36.7
標準偏差	7.3	11.6	9.2	6.2
変動係数	21.6	31.2	28.9	16.8

表 6.47.　雑種第二代 F_2 の止葉幅の分離

止葉幅　cm	PCF2-1	PCF2-7	PCF2-10-1	PCF2-10-2
0.5-1.0	9	9	30	7
1.1-1.5	69	47	78	57
1.6-2.0	54	98	97	44
2.1-2.5	4	91	34	3
2.6-3.0		21		
n/a	13	10	15	7
合計	149	276	254	118
平均	1.5	1.9	1.6	1.5
標準偏差	0.3	0.5	0.5	0.3
変動係数	18.9	28.8	28.9	20.0

雌蕊の柱頭は穎花の中にあるので、栽培者が柱頭色を人為選択の対象形質とはしないと考えられる。柱頭色は白、白に近いごく薄い紫、濃い赤紫に 3 分類できる。雑種第二代 PCF2-1 の柱頭色は赤紫（74%）が大半で、白と薄紫も出現した。F_1 の PC1F1 は赤紫、種子親 PC5 と花粉親 PC339 もともに赤紫であったが、F_2 では白や薄紫が出現している。PCF2-7 の柱頭色は赤紫（76.8%）がやはり大半であり、白と薄紫は少ない。F_1 の柱頭色は赤紫で、種子親 PC247 は薄紫、花粉親 PC480 は白に薄紫が混合していた。F_2 の PCF2-10-1 と PCF2-102 は赤紫（73.5%と 72.2%）が多かったが、F_1 の PC1F10 は赤紫、種子親 PC488 は赤紫、花粉親 PC480 は白に薄紫が混合していた。この観察結果から赤紫は顕性としても、この主動遺伝子だけで、色調は決定されていないことを示している。

表 6.48.　雑種第二代 F_2 の柱頭色の分離

柱頭色	PCF2-1	PCF2-7	PCF2-10-1	PCF2-10-2
白	11	9	27	14
薄紫	27	54	38	18
赤紫	108	209	180	83
n/a	3	4	9	3
合計	149	276	254	118

キビは植物全体に毛が多いので、穂首の有毛性は柱頭色と同様に、栽培者の注意を得ることはなく、人為選択の対象にはならないと考えられる。雑種第二代の穂首の有毛性については表6.49に示した。F2のPCF2-1は無毛(62.0%)が多く、続いて多毛(29.6%)、著しく多毛（8.5%）であった。F_1の PC1F1 は無毛、種子親 PC5 は無毛、花粉親 PC339 は多毛であった。PCF2-7 の穂首の有毛性は無毛(83.3%)が多く、続いて多毛(14.4%)、著しく多毛（2.2%）であった。F_1の PC1F7 は無毛、種子親 PC247 と花粉親 PC480 はともに無毛であった。F_2のPCF2-10-1とPCF2-10-2の穂首の有毛性は無毛(69.1%と73.0%)が多かったが、多毛（27.6%と 3.3%）や著しく多毛（20.9%と 6.1%）も出現した。F_1の PC1F10 は無毛、種子親 PC488 は著しく多毛、花粉親 PC480 は無毛であった。したがって、無毛が明らかに顕性であるが、無毛同士の人為交雑でも多毛や著しく多毛が出現するので、主動遺伝子だけで決まらずに、連続性のある形態的形質とみられる。

表 6.49.　雑種第二代 F_2 の穂首有毛性の分離

有毛性	PCF2-1	PCF2-7	PCF2-10-1	PCF2-10-2
無毛	88	225	168	84
有毛				
多毛	42	39	67	24
著しく多毛	12	6	8	7
n/a	7	6	11	3
合計	149	276	254	118

4) 交雑実験のまとめ

花粉親テスターに用いた 6 系統との交雑稔性から見て、ユーラシアの東西の端に位置する極東、日本とヨーロッパ、フランスの系統は遺伝的分化が最も進行している。中国の系統はヨーロッパの系統ともつながりを保ち、インドの系統は東アジアの系統と、中央アジアの系統も東アジアの系統とつながりを保っているが、他の地域の系統とはあまり人為交雑できなかった。イヌキビを花粉親とすると、どの地域の系統とも交雑ができたが、イヌキビは種子親としては全く機能しなかった。交配技術に問題があるのかもしれないが、この結果が正しいとするのなら、イヌキビはキビからの花粉を受け入れず、生殖的に隔離されて、交雑による雑種形成はキビへと一方的に起って、雑草型イヌキビ

が畑地に生育していれば、栽培型の個体周辺に雑草が形成される。

6.4. 生化学的形質から見た地理的変異

生化学的形質は実験分析操作を加えなければ可視化できないので、栽培者による人為選択に関わりにくい。そこで、生体成分の分析により、生化学的形質の地理的変異を検討するために、次の5生体成分について分析した。内外穎のフェノール呈色反応、葉のエステラーゼ・アイソザイム、幼植物のDNA断片長多型はほとんど人為選択に関わらないと考えられる。種子の脂肪酸組成も繊細な味覚の栽培者には人為選択されるかもしれないが、それほど配慮することはないとも考えられる。ただし、内乳デンプンのヨード・ヨードカリ呈色反応はモチ・ウルチ性の判別に用いるので、味覚による人為選抜が関与すると考えられる。

1）内外穎のフェノール呈色反応

穎のフェノール呈色反応は薬液に浸さなければ不可視であるから、人為選択を受けることはないと考えられる。この反応はフェノール・オキシダーゼという酵素を含む複雑な生化学的反応である。種内変異の系統分化や地理的分布を明らかにする手法として有効である（Kawase and Sakamoto 1982）。

キビの内外穎が褐色である系統は多いので、着色前の若い穀粒の内外穎10を用いてフェノール呈色反応を検査した（Kimata and Negishi 2002）。表6.2に示した411系統について、これらの若い内外穎をフェノール溶液（３％、2ml）に室温で、24時間浸漬して、乾燥し、表面が黒褐色に変化したかを観察した。

表6.50に示したように、呈色反応については-から+++まで５段階に分類した。全般的に見てフェノール着色性（+～+++）を示す在来系統が多かったが（78.4%）、一方で限定的な地域、中国、モンゴルおよび日本の北海道と南西諸島においては非着色性（－～±）の在来系統が多かった(66%以上)。また、中央アジアの系統にも非着色性の系統(25%)が少なからず認められた。フェノール着色性はキビのデータベースで穎果の色と対比したところ対応しない呈色反応であるので、相互に独立した形質と言える。

{注:キビのデータベース、http://www.milletimplic.net/collection/panicumdb1.pdf}

着色性の系統は日本の主要島を含むおおかたの地域で広範に認められた。このような広い地理的変異はコムギやオオムギでも観察されている（Kondo and Kasahara 1940）。しかしながら、イネとアワでは2表現型が明瞭に見られている。反応性の系統は南中国や南アジアに著しく多く、日本や韓国ではまれであった（Iizuka *et al.* 1977、Kawase and Sakamoto 1982、Lee and Sakamoto 1984、河瀬 1986、Seetharam　私信）。すなわち、キビはこれらとは異なった地理的分布を示しており、アワと比べて、反応性の系統が東アジアやヨーロッパに向かって分布しているので、中央アジアから北方に向かって広がっている。この結果から、モンゴルや北中国を経て、日本北海道に向かう連続的な

伝播経路が示唆される。

2）内乳デンプンのヨード・ヨードカリ呈色反応

イネ科穀物の種子内乳デンプンにモチ性を有するのは、キビの他に、ハトムギ、オオムギ、イネ、アワ、モロコシおよびトウモロコシの７種である。キビ以外の６種ではヨード・ヨードカリ呈色反応が赤茶色（モチ性）と青色（ウルチ性）の２表現型におおよそ明瞭に分かれ変異は少なく（Nam *et al.* 1986)、葡萄色（中間性）が出現することは少ない。

キビの種子内乳デンプンはアワと同様に（阪本　1982)、モチ性在来系統が東アジア（47%以上）に局在して分布している（表 6.51)。モンゴルおよび南アジア以西はほとんどの在来系統はウルチ性を示している。また、日本北海道を中心に韓国、中国など東アジアの在来系統ではモチ・ウルチ中間性が多く認められた（Kimata and Negishi 2002)。キビ以外の６穀物はすべて２倍体であるので、キビに限って中間性が多いのは複雑な倍数性（2n=36、40、49、54、72 など）と関わりがあると推測される。実際に北海道の在来品種においてこの関係の一端が明らかになった（渡辺　未発表)。

東アジアにおいて穀類の内乳デンプンのモチ性系統が偏在分布しているのは、東アジアの人々が農耕儀礼や祭事でモチ性系統を用い、祖先にも供することに関連している（Sakamoto 1983)。ウルチ性の系統は東アジアからヨーロッパまで広く分布しているが、日本ではごくまれである。西アジア、旧ソビエト連邦およびヨーロッパで５系統のモチ性・中間性系統が収集されているが、これらの地域では多種のモチ性系統はまったく見られず、ウルチ性系統ばかりである。したがって、キビのモチ性・中間性系統は東アジアから偶然導入されて栽培されていたのかもしれない。

表 6.50.　内外穎のフェノール呈色反応

地域	系統数	非反応（系統数／%）		有反応			未決定
		−	±	+	++	+++	
日本	132						
北海道	16	6（46.2）	6（46.2）			1(7.7)	3
本州	57	2(4.3)	4(8.7)	13(28.3)	10(21.7)	17(37.0)	11
四国	30	3(12.5)	1(4.2)	4(16.7)	4(16.7)	12(50.0)	6
九州	9			3(42.9)	4(57.1)		2
南西諸島	20	8(47.1)	6(35.3)	2(11.8)		1(5.9)	3
東アジア	39						
Korea	23	2(10.5)	2(10.5)	6(31.6)	5(26.3)	4(21.1)	4
China	10		6(75.0)			1(12.5)	2
Mongolia	6		2(66.7)		1(33.3)		3
南アジア	90	1(1.4)	6(8.7)	17(24.6)	8(11.6)	37(53.6)	21
西アジア	26		1(4.2)	2(8.3)	4(16.7)	17(70.8)	2
旧ソビエト連邦	78						
Central Asia	12	1(8.3)	2(16.7)	4(33.3)	3(25.0)	2(16.7)	
その他	66	1(1.6)	10(15.6)	15(23.4)	12(18.8)	26(40.6)	2
ヨーロッパ	43	3(7.6)	2(5.1)	8(20.5)	13(33.3)	13(33.3)	4
アフリカ	2			1			1
北アメリカ	1						1
合計	411	27(7.8)	48(13.9)	75(21.7)	65(18.8)	131(37.9)	65

表 6.51.　内乳デンプンのモチ・ウルチ性、ヨード・ヨードカリ呈色反応

地域	系統数	呈色反応　系統数（%）			
		赤茶（モチ）	葡萄（中間）	青（ウルチ）	未決定
日本	132				
北海道	16	1（6.3）	15（93.7）		
本州	57	33(57.9)	21(36.8)	3(5.3)	
四国	30	23(76.7)	7(23.3)		
九州	9	6(66.7)	3(33.3)		
南西諸島	20	13(68.4)	6(31.6)		1
東アジア	39				
Korea	23	11(50.0)	5(22.7)	6(27.3)	1
China	10	6(60.0)	1(10.0)	3(30.0)	
Mongolia	6			6(100)	
南アジア	90			90(100)	
西アジア	26		1(3.8)	25(96.2)	
旧ソビエト連邦	78				
Central Asia	12			12(100)	
その他	66	1(1.5)	2(3.0)	63(95.5)	
ヨーロッパ	43		1(2.4)	41(97.6)	1
アフリカ	2			2	
北アメリカ	1			1	
合計	411	94(23.0)	62(15.2)	252(61.8)	3

Kimata & Negishi 2002改変

3）穀粒の脂肪酸組成

脂肪酸組成もアミノ酸組成と同様にイネ科の亜科分類群と関連していることが明らかにされている。脂肪酸組成と系統分化の研究がすでに行われているのは、イネとアワについてである。イネ科の脂肪酸組成ではオレイン酸とリノール酸が主成分で、全脂肪酸量の 80%ほどを占めているが、亜科ごとに少含量脂肪酸の組成において差異が認められている。イネではインド型、中国型、日本型およびジャワ型間の差異が明らかになっている。アワでは穀粒内乳デンプンのモチ・ウルチ性の関連も含めて、東アジアの系統とヨーロッパからインド、インドネシアまでの系統間で、脂肪酸組成に明瞭な差異が認められている（平 1986、1989）。

キビ亜科の種子はとりわけ高い脂肪酸含量を示す。在来品種 47 系統の種子内に含まれる総脂質を Folch 法で抽出し、中性脂質と極性脂質に分別調整して、中性脂肪の脂肪酸組成をガスクロマトグラフィにより定量分析した（Kimata *et al.* 2007）。

穀粒における総脂質含量（重量%）と総脂質に対する中性脂肪の重量%を表 6.52 に示した。総脂質については 3.2～6.7 重量%まで系統間で変異の幅があった。また、総脂質に対する中性脂質含量は 72.2～94.7 重量%の変異幅を示した。総脂質はモチ性品種（平均 5%）、中性脂質はウルチ性品種（平均 89.4%）においてそれぞれ若干高い傾向が認められたが、統計的有意差はなかった。

中性脂質の脂肪酸組成は最も含量の多いリノール酸はモチ性品種（平均 62.7%）で、次に含量が多いオレイン酸はウルチ性品種（平均 22.8%）で高い傾向が示され、パル

ミチン酸は中間性品種（平均 12.5%）で高い含量と幅広い変異を示したが、これらにも統計的有意差はなかった（表 6.53)。

一方、微量の脂肪酸であるアラキジン酸、エイコセン酸およびベヘン酸の有無によって、供試品種は 4 タイプ（AB・AE・ABE・0 型）に分類でき（表 6.54)、これらの地理的分布には明瞭な偏りが認められ、AB 型はヨーロッパから中央アジアに、AE 型（雑草型を含む）はユーラシア全域に分布、ABE と 0 型は極東に多い。この結果はキビの中部アジア起源と東西両方向への伝播を示唆している。ちなみに、アワではステアリン酸とアラキジン酸の含量に地理的変異があり、東アジアの系統が中央アジアの系統から系統分化したことを示唆している（平 1989)。

表 6.52.　穀粒の脂肪酸組成（%）

地域	モチ・ウルチ性 系統番号	総脂質重量%	総脂質に対する 中性脂質重量%
	ウルチ性		
フランス	PC49	4.7	91.7
スペイン	PC50	6.7	90.9
ルーマニア	PC45	4.2	89.4
ルーマニア	PC46	3.8	85.8
ルーマニア	PC47　雑草型	5.1	90.3
旧ソビエト連邦	PC41	4.0	89.3
旧ソビエト連邦	PC42	4.1	89.8
旧ソビエト連邦	PC43	3.5	84.0
アフガニスタン	PC37	4.3	95.8
アフガニスタン	PC39	4.0	90.2
アフガニスタン	PC40	4.5	88.3
インド	PC67	4.9	91.0
インド	PC339	4.8	89.9
インド	PC455	5.6	91.1
ネパール	PC67	4.9	81.7
中国	PC316	5.3	89.3
韓国	PC169	4.6	91.9
平均		4.7±0.8	89.4±3.2
	中間性		
中国	PC36	4.8	83.8
日本	PC5	4.5	89.9
日本	PC8	4.8	94.7
日本	PC10	4.7	82.9
日本	PC18	3.6	80.6
日本	PC20	4.6	81.6
日本	PC21	4.8	83.8
日本	PC26	4.2	90.5
日本	PC54	4.2	86.6
平均		4.5±0.4	86.0±4.7
	モチ性		
中国	PC52	4.6	85.4
中国	PC53	4.8	78.2
韓国	PC33	6.7	78.9
日本	PC23	5.6	72.2
日本	PC25	4.8	86.1
日本	PC31	6.1	88.9
日本	PC166	3.6	81.8
日本	PC480	3.8	90.3
平均		5.0±1.1	82.7±6.1

表 6.53.　中性脂質の脂肪酸組成（重量%）

地域	モチ・ウルチ性	リテンション・タイム							
	系統番号	16:0	18:0	18:1	18:2	18:3	20:0	20:1	22:0
	ウルチ性								
フランス	PC49	9.6	tr.	19.8	63.2	1.8	1.0		1.3
スペイン	PC50	16.0	2.7	28.3	25.9	0.1	1.6		2.3
ルーマニア	PC45	12.4	3.3	19.2	53.1	1.3	2.0		0.7
ルーマニア	PC46	12.0	2.7	18.0	56.7	2.0	1.4		0.8
ルーマニア	PC47　雑草型	12.6	1.7	29.2	53.0	0.6	1.4	0.9	
旧ソビエト連邦	PC41	10.2	tr.	21.2	62.4	1.3	1.0		1.0
旧ソビエト連邦	PC42	8.5	1.7	17.8	66.0	0.6	0.7		0.4
旧ソビエト連邦	PC43	8.3	3.3	19.2	63.3	1.4	1.6		0.5
アフガニスタン	PC37	8.4	0.2	21.1	62.6	1.5	0.9		0.7
アフガニスタン	PC39	9.0	0.1	19.6	60.0	1.5	1.2		0.9
アフガニスタン	PC40	10.5	2.5	17.8	50.9	0.5	1.2		2.7
インド	PC67	7.4	0.3	25.2	64.5	1.3	0.5	0.6	
インド	PC339	6.9	1.3	25.5	63.6	1.2	0.6	0.7	
インド	PC455	7.0	0.6	33.3	55.5	1.1	0.6	0.8	
ネパール	PC67	7.4	0.3	25.2	64.5	1.3	0.8	0.6	
中国	PC316	7.8	0.9	23.9	63.9	1.2	0.8	0.9	
韓国	PC169	12.3	1.7	29.9	53.1	0.8	1.0	1.6	
平均		9.8±2.5	1.4±1.1	23.2±4.8	57.8±9.6	1.2±0.5	1.1±0.4	0.9±0.3	1.1±0.8
	中間性								
中国	PC36	8.8	tr.	18.3	58.8	1.1	0.6		0.8
日本	PC1	12.0	2.8	16.5	65.3	1.7			
日本	PC2	16.2	2.1	16.3	60.5	1.7			
日本	PC3	10.8	1.3	18.1	63.9	1.9			
日本	PC5	10.3	1.3	21.2	64.0	1.3	0.9	0.6	
日本	PC6	11.7	1.3	15.8	67.1	1.6			
日本	PC7	11.1	1.6	19.6	60.0	1.3			
日本	PC8	21.6	tr.	24.2	48.5	tr.	1.0		0.9
日本	PC10	16.9	1.6	16.7	45.7	3.1	0.7	1.4	3.3
日本	PC11	11.9	1.5	16.7	65.7	1.6			
日本	PC12	10.8	1.2	15.1	68.9	0.8			
日本	PC13	13.2	1.0	15.6	65.1	2.9			
日本	PC15	12.0	3.0	18.1	63.3	1.0			
日本	PC16	15.7	1.9	17.3	60.5	1.5			
日本	PC17	12.4	1.5	16.9	65.8	1.4			
日本	PC18	13.5	1.7	19.6	48.4	1.0	1.3	1.4	2.6
日本	PC19	10.8	1.3	15.4	66.6	3.4			
日本	PC20	10.1	tr.	20.1	64.4	1.2	0.7	0.8	0.9
日本	PC21	14.3	1.6	23.0	64.1	0.4	1.0	1.0	7.1
日本	PC26	7.8	4.4	28.0	49.7	1.4	0.9	0.8	
日本	PC54	10.1	0.7	20.0	57.8	1.7	1.0		1.5
平均		11.5±3.1	1.5±0.9	18.7±3.3	60.6±6.9	1.5±0.8	0.9±0.2	1.0±0.3	2.4±2.3
	モチ性								
中国	PC52	11.0	2.4	15.2	58.1	0.3	0.6		0.6
中国	PC53	10.5	2.1	16.6	63.9	0.4	1.0		0.7
韓国	PC33	5.9	0.8	24.1	65.2	0.9	0.5	0.8	tr.
日本	PC23	10.6	tr.	19.1	64.2	1.5	0.9	0.8	0.9
日本	PC24	12.8	0.4	18.8	63.4	1.7			
日本	PC25	10.1	1.0	19.9	64.0	1.2	0.8	1.2	0.7
日本	PC31	5.8	tr.	22.7	59.6	1.7	1.4	1.2	1.3
日本	PC166	9.9	1.1	22.0	60.8	1.4	0.8	0.6	
日本	PC480	10.6	1.2	20.5	65.3	1.2	0.7	0.6	
平均		9.7±2.3	1.0±0.7	19.9±2.9	62.7±2.6	1.1±0.5	0.8±0.3	0.9±0.3	0.7±0.3

注：16：0＝パルミチン酸、18：0＝ステアリン酸、18：1＝オレイン酸、18：2＝リノール酸、18：3＝リノレン酸、20：0＝アラキジン酸、20：1＝エイコセン酸、22：0＝ベヘン酸。

表 6.54.　微量脂肪酸の組成による 4 型と地理的分布

地域	AB	AE	ABE	0	合計
ヨーロッパからアフガニスタン	10	1（雑草）			11
インド亜大陸		4			4
中国と韓国	3	2	1		6
日本	2	4	7	13	26
系統数	15	11	8	13	47

ABは型アラキジン酸とベヘン酸、AE型はアラキジン酸とエイコセン酸、ABE型は３脂肪酸、0型はどれも含まない。

4）穀粒のエステラーゼ・アイソザイムの地理的変異

キビの種子のエステラーゼ・アイソザイムについて、ポリアクリルアミドを支持体とした等電点電気泳動法（スラブ）およびデンプンを支持体としたスラブ電気泳動法により分析した。両方法ともに、種子 100 mgを 25℃一定で 24 時間培養して、実験材料に用いた。基質はα-ナフチル・アセテート、染色にはファースト・ブルーRR 塩を用いた。

等電点電気泳動法（ポリアクリルアミド・ゲル）によるエステラーゼ・アイソザイムの変異については表 6.55 に示した。使用した 60 系統のメイン・バンド Est-1a は中央アジアからヨーロッパの系統、および雑草型イヌキビには認められず、同じく EST-1 b についても少数しか見られなかった。日本と東・南アジアの系統についてはその逆で両バンドもともに比較的多くの系統で認められた。一方で、Est-2b は特にヨーロッパの系統によく現れたが、日本ないし東アジアの系統ではあまり見られなかった。

表 6.55.　エステラーゼ・アイソザイムの変異

地域	系統数	Est-1			Est-2		
		a	b	null	a	b	null
日本	40	13	15	18	8	1	32
北海道	20	6	5	11	1		19
本州以南	20	7	10	7	7	1	13
東・南アジア	6	3	2	2	2	1	3
中央・西アジア	7		1	6	1	2	5
ヨーロッパ	6		2	4	1	3	3
雑草型	1			1			1
合計	60	16	20	31	12	7	44

デンプン・ゲルによるスラブ電気泳動法によるエステラーゼ・アイソザイムの分析では、では、雑草型イヌキビとヌカキビ を比較対象材料に加えて、126 系統についてさらに詳細に分析した（表 6.56）。なお、ヌカキビ *P. bisulcatum* Thunberg は日本からインドにまで温帯や熱帯に広く分布している一年生草本（2n=36、54）である。

バンド est-1a は最も強く、全系統で必ず現れた。est-1b は 2 番目に強いバンドで、これもほとんどの系統で現れた。これに対して、est-2 と est-3 も大半の系統で認めら

れたが、幅い広い変異を示していた。est-2a は日本の本州以南、韓国、中国、モンゴル、ネパール、パキスタン、およびヨーロッパの系統で頻繁に認められた。est-2b バンドについては日本の本州以南、韓国、インドおよび中央アジアの系統において高い頻度で認められた。また、est-3a は日本の本州以南、韓国、中国、モンゴル、ネパール、インド、中央アジアおよびヨーロッパにおいて、est-3b は日本の本州以南、韓国、中国、モンゴル、パキスタン、アフガニスタンおよび中央アジアにおいて高い頻度で見られた。これらの結果から、日本の本州以南、韓国、中国、モンゴルおよびネパールにおいて、エステラーゼ・アイソザイムついてはかなり高い変異の共通性が見られ、また、パキスタン、インドおよび中央アジア周辺での変異の多様性が明瞭である。

表 6.56.　エステラーゼ・アイソザイムの変異（デンプン・ゲル）

地域	系統数	est-1			est-2			est-3		
		a	b	null	a	b	null	a	b	null
日本	50									
北海道	5	5	5		1	1	3	1	2	3
本州以南	45	45	45		32	14		27	18	5
韓国	19	19	19		10	10		11	11	1
中国	3	3	3		3			2	3	
モンゴル	2	2	2		1	1		1	1	
ネパール	8	8	8		8			6	2	
インド	14	14	14		4	10		13	4	
パキスタン	14	14	14		12	2		3	13	
アフガニスタン	1	1	1		1				1	
旧ソビエト連邦	10									
中央アジア	4	4	3			4		4	2	
ヨーロッパ	3	3	3		1	2		3		
その他	3	3	3			3		3		
ルーマニア	1	1	1		1				1	
ドイツ	1	1	1		1				1	
ポーランド	1	1	1		1			1		
雑草型イヌキビ	1	1	1		1				1	
雑草ヌカキビ	1	1	1				1			1
合計	126	126	125	0	77	47	4	76	60	10

5）全核 DNA 増幅断片長多型（AFLP）から見た系統

DNA を抽出するために、2004 年 10 月 4 日に、75 系統の種子各 10 粒を育苗箱のバーミキュライトに播種した（表 6.57）。DNA は若い葉を液体窒素で凍らせて磨り潰し、CTAB 法(hexadecyl-trimethyl-ammonium bromide) により抽出した (Murray and Thompson 1980)。

この手法は Applied Biosystems (2005)、 Bai et al. (1999)、陶山(2001)および小

池（2003）を参照し、AFLP 手順に従って、緩衝液 A（0.5ml）を入れた 1.5ml チューブで、60℃、10 分間培養した。増幅も同じプロトコルで行った。次の 5 プライマー、*Eco*RI（E+AAC、E+AAG、E+AGG、E+ACT、and E+ACA）および対応する 5 プライマー、*Mse*I（M+CAG、M+CTG、 M+CTA、 M+CAT、 and M+CAA)を組み合わせて使用した。増幅した試料 5 μℓを、5.75%ポリアクリルアミド・ゲル(LONZA)を用いて、1 時間、1× TBE 中で、電気泳動した。DNA 断片のバンドは銀染色で明示し（Cho *et al.* 1996)、ゲル上のバンドは Lane Analyzer（ATTO)を用いて最高感度で分析した。

データは調整し、可視再現性のあるバンドを 1／0 データに変換して、AFLP マーカーによる系統樹 dendrogram を neighbor-joining 法と、UPGMA 法で作成した(Nei and Kumar 2000)。さらに、bootstrap analysis (PAUP* ver. 4.0)で検定し、hierarchical cluster analysis（group average method、 SPSS ver. 21)で分析を行った。なお、試料 P1～P5 のデータは鮮明ではなかったので分析から除いた。

表 6.57.　DNA 増幅断片長多型 AFLP 法分析に用いた材料

地域	系統数	実験試料番号(栽培番号)
日本	7	p1(PC5), p2(PC11), p30(PC203), p37(PC229), p38(PC232), p39(PC235), p60(PC480)
韓国	3	p3(PC33), p4(PC35), p23(PC169)
中国	6	p5(PC36), p14(PC52), p15(PC53), p19(PC112), p29(PC198), p51(PC316)
モンゴル	2	p18(PC110), p20(PC115)
ネパール	3	p13(PC48), p16(PC67), p52(PC326)
バングラデシュ	1	p50(PC312)
ウズベキスタン	3	p68(PC543-1), p69(PC560), p70(PC562-1)
アフガニスタン	2	p6(PC37), p7(PC39)
インド	9	p53(PC339), p54(PC350), p55(PC354), p56(PC392), p57(PC441), p61(PC486), サマイ *P. sumatrense;* pm2, pw1, pw68
パキスタン	8	p58(PC443), p59(PC455), p62(PC494), p63(PC505), p64(PC464-4), p65(PC477), p66(PC496), p67(PC496-2)
トルコ	3	p17(PC99), p33(PC215), p91(雑草型)
ギリシア	1	p36(PC222)
ルーマニア	7	p9(PC170), p10(PC171), p24(PC170), p31(PC221), p32(PC47、雑草型), p34(PC220), p35(PC221)
チェコスロバキア	1	p21(PC116)
ユーゴスラビア	1	p40(PC239)
旧ソビエト連邦		
東アジア	4	p41(PC243), p43(PC263), p46(PC282), p49(PC305)
中央アジア	1	p42(PC257)
ヨーロッパ	2	p45(PC275), p48(PC302)
ポーランド	1	p44(PC265)
ブルガリア	1	p22(PC139)
ドイツ	4	p25(PC179), p26(PC181), p27(PC187), p28(PC188)
ベルギー	1	p8(PC44)
フランス	1	p11(PC49)
スペイン	1	p12(PC50)
カナダ	1	p47(PC291)
アメリカ合衆国	1	サウイ *P. sonorum;* p111
合計	75	

まず、キビ属3栽培種（キビ *Panicum miliaceum*、サマイ *P. sumatrense*、サウイ *P. sonorum*）および雑草型の種分化について、系統樹を作成した（neighboring joint tree、PAUP*）。図6.19に示したように、キビおよびパキスタンとウズベキスタンの雑草型、サマイとサウイの間ではブート・ストラップ検定においても明瞭な種分化が認められる。

しかしながら、図6.20に示したように、キビの種内系統分化についてはブート・ストラップ検定では明瞭な差異は示されていない（UPGMA tree、PAUP*）が、系統樹には地理的傾向は示されている。75系統は大きく2クラスターI群（6亜群）とII群（3亜群）に分かれた。Ia亜群は5系統、ドイツ、ルーマニア雑草型（subsp. *ruderale*）、中国および日本（2）を含む。Ib亜群は7系統、トルコ、ギリシャ、ルーマニア（2）、および日本（3）よりなる。Ic1亜群は6系統、ユーゴスラビア、旧ソビエト連邦（ヨーロッパ2、中央アジア2）およびポーランドである。Ic2亜群は10系統、カナダ、旧ソビエト連邦（ヨーロッパ2、中央アジア1）、中国、ネパール、バングラデシュ、およびインド（3）を含む。Ic3亜群は8系統、インド（3）、パキスタン（4）、および日本よりなる。Id亜群は7系統、パキスタン（2、2雑草型）、ウズベキスタン（2、1雑草型）である。IIa亜群はアフガニスタンの2系統のみである。IIb亜群は9系統、中国（2）、ネパール（2）、ルーマニア（2）、フランス、スペイン、ベルギーを含む。ＩＩｃ亜群は11系統、中国、韓国、モンゴル（2）、トルコ、ブルガリア、ルーマニア、チェコスロバキア、ドイツ（3）より構成されている。

AFLPマーカーの分布は概して2つの地理的傾向を示している。第1はアフガニスタンとモンゴルからヨーロッパに、中国を経てネパールへと東・西の傾向である。第2はウズベキスタンとパキスタンからインドに、旧ソビエト連邦（中央アジア、ヨーロッパ）を経て東ヨーロッパへと南・西の傾向である。他方で、階層的クラスター分析（group average method、 SPSS）に基づけば、51系統内で、2群が抽出されたのみであった。Ｉ群は5系統、パキスタンとウズベキスタンの3雑草型を含んでいるが、ＩＩ群は他地域の46系統よりなっていた。

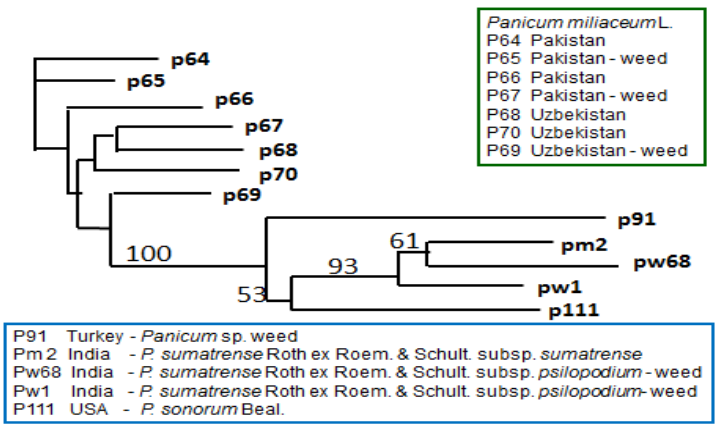


図6.19.　キビ属栽培種、雑草のDNA断片長多型AFLP法による系統樹

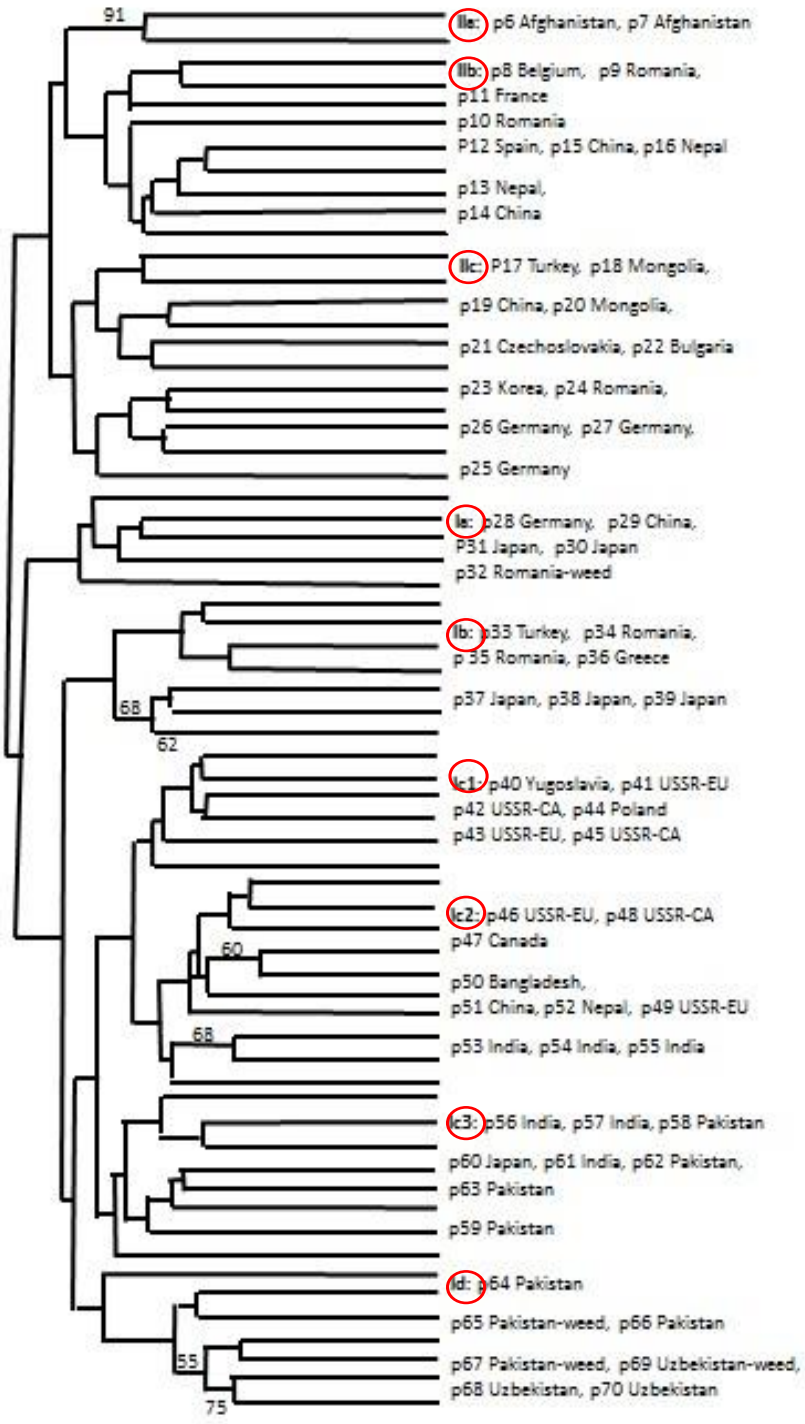


図 6.20. キビの DNA 断片長多型 AFLP 法による系統樹（UPGMA 法）

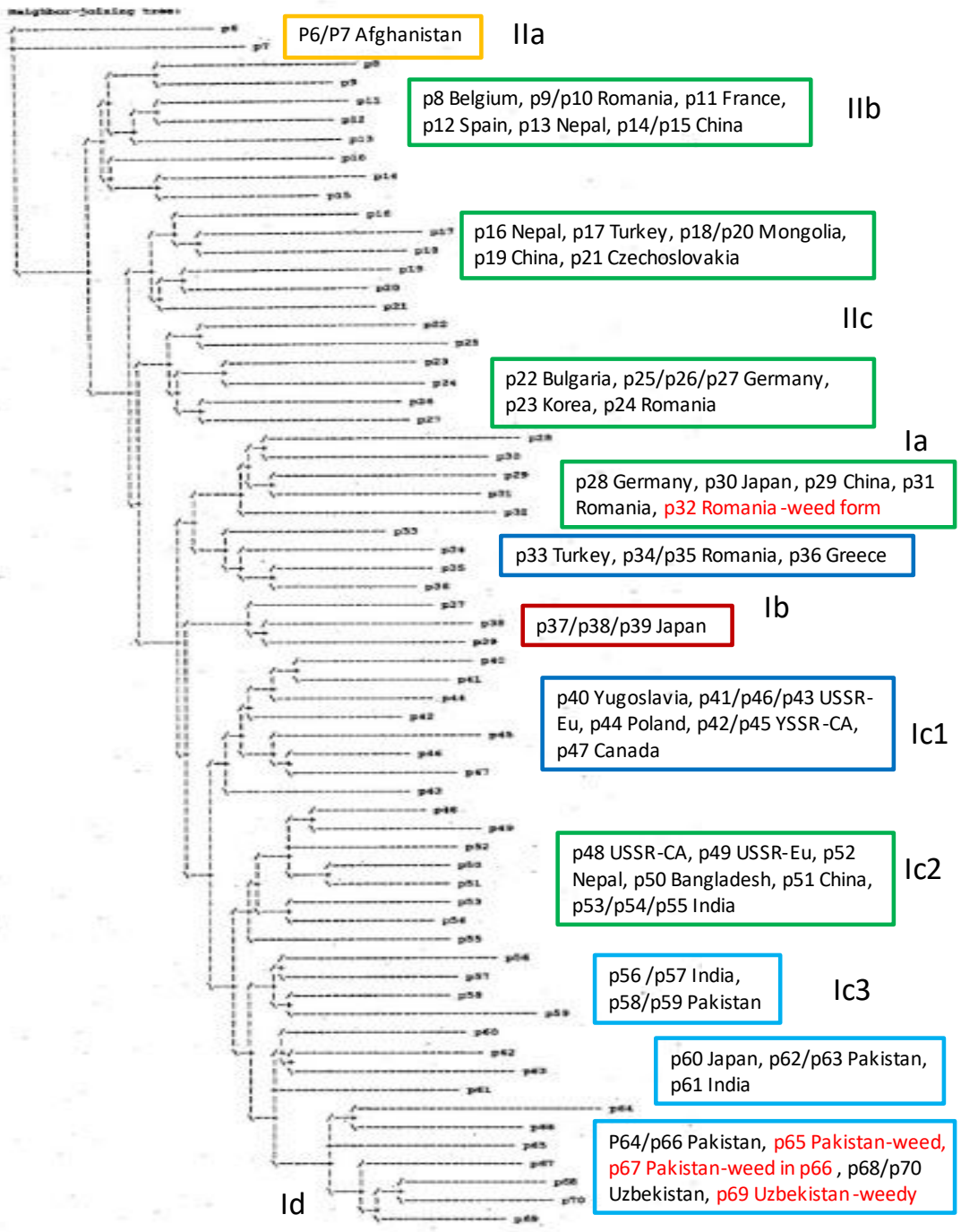


図 6.21.　キビの DNA 断片長多型 AFLP 法による系統樹(neighbor-joining 法)

UPGMA 法（図 20）とは別に neighbor-joining 法（図 21）での系統樹は対比すると若干の差異がある。概観して特徴的なのは次の点である。(1) ルーマニアの系統が Ia 亜群、Ib 亜群、IIb 亜群および II c 亜群にと、広範囲に出現している。(2) 中国の系統

は Ia 亜群と IIb 亜群でヨーロッパの系統と、Ic2 亜群と IIb 亜群でネパールの系統と共に出現している。(3) 日本の系統 Ia 亜群と Ib 亜群でドイツと東欧の系統と共に出現している。(4) ルーマニア雑草型が Ia 亜群に現れているが、パキスタンとウズベキスタンの雑草型は Id 亜群に出現している。

６）生化学的形質のまとめ

内外穎のフェノール呈色反応では、キビの着色性の系統は日本の主要島を含むおおかたの地域で広範に認められ、このような広い地理的変異はコムギやオオムギでも観察されている（Kondo and Kasahara 1940)。しかしながら、イネとアワでは 2 表現型が明瞭に見られており、着色性の系統は南中国や南アジアに著しく多く、日本や韓国ではまれであった（Iizuka *et al.* 1977、Kawase and Sakamoto 1982、Lee and Sakamoto 1984、河瀬 1986、Seetharam　私信)。したがって、キビはこれらとは異なった地理的分布を示しており、アワと比べても反応性の系統が東アジアやヨーロッパに向かって分布し、中央アジアから北方に向かって広がっているので、モンゴルや北中国を経て、日本北海道に向かう連続的な伝播経路が示唆されている。

キビの種子内乳デンプンはアワと同様に（阪本　1982)、モチ性在来系統が東アジアに局在して分布し、モンゴルおよび南アジア以西はほとんどの在来系統はウルチ性であった。日本北海道を中心に韓国、中国など東アジアの在来系統ではモチ・ウルチ中間性が多く認められた（Kimata and Negishi 2002)。キビに限って中間性が多いのは複雑な倍数性と関わりがあると推測される。

微量の脂肪酸であるアラキジン酸、エイコセン酸およびベヘン酸の有無によって、供試品種は 4 タイプ（AB・AE・ABE・0 型）に分類でき（表 6.54)、これらの地理的分布には明瞭な偏りが認められ、AB 型はヨーロッパから中央アジアに、AE 型（雑草型を含む）はユーラシア全域に分布、ABE と 0 型は極東に多い。したがって、キビの中央アジア起源と東西両方向への伝播を示唆している。

エステラーゼ・アイソザイムついては、日本の本州以南、韓国、中国、モンゴルおよびネパールにおいて、かなり高い変異の共通性が見られ、一方、パキスタン、インドおよび中央アジア周辺での変異の多様性が明瞭である。

全核 DNA 増幅断片長多型 AFLP マーカーの分布は概して 2 つの地理的傾向、アフガニスタンとモンゴルからヨーロッパに、中国を経てネパールへと東・西の傾向、およびウズベキスタンとパキスタンからインドに、旧ソビエト連邦を経て東ヨーロッパへと南・西の傾向である。この傾向は、ルーマニアの系統が広範囲に出現している、中国の系統はヨーロッパの系統およびネパールの系統と共に出現している。日本の系統はドイツと東欧の系統と共に出現している。ルーマニア雑草型とパキスタンおよびウズベキスタンの雑草型は離れた位置に出現している。このような生化学的形質は栽培者の人為選択に関与しにくいので、キビの植物学起原と地理的起源および伝播経路を明らかにするため

の有効な資料であることを示したので、後述の総合考察において参照する。

6.5. キビの伝統的な加工・調理方法及び食文化から見た特性

1）キビの伝統的利用

伝統的な穀物の調理法は表 6.58 に示すように、粒食、粗挽粉食、粉食および飲物に大きく 4 分類できる（阪本 1986、 Kimata and Sakamoto 1992)。ウルチ性系統で調理する飯や粒粥のような粒食は主に東および南アジアにみられる。また、粗挽粥やパンは中央アジアおよびヨーロッパで広範囲に調理されている。中央アジアからモンゴルにおいては、炒った穀粒をミルク茶に入れるか（図 6.21)、粒粥、あるいは非アルコール飲料として飲食される（ＡＢДＲＡＸＭＡＨＯＢＩＣ　1990)。しかし、極東ではミルクを飲む食文化はなかったので（Sauer 1969)、水で煮た粥を食べる（ウー　2000)。モチ性系統を加工・調理する餅、強飯や団子は東アジアに特徴的な食べ物であり、アルコール飲料の醸造にも用いられる。調理法の地理的分布とキビの植物学的な特徴の分化が相関していることは伝播と系統分化を探る上で有効である。

表 6.58.　ユーラシアにおける多様なキビの調理法

地域	モチ／ウルチ性	粒食				粗挽粥	粉食			飲み物	
		飯	強飯	粒粥	餅		団子	粉粥	パン	非アルコール	アルコール
日本	ウルチ	○		○			○				
	モチ		○		○		○	○			○
韓国	ウルチ	○									
	モチ		○		○						○
中国	ウルチ	○		○					○		○
	モチ		○		○				○		○
台湾	ウルチ	○									
	モチ		○		○		○				○
バタン諸島	ウルチ					○					
ハルマヘラ諸島	ウルチ					○					
インド	ウルチ	○				○		○	○		
パキスタン	ウルチ	○							○		
アフガニスタン	ウルチ					○	○		○		
ウズベキスタン	ウルチ					○			○		
カザフスタン	ウルチ					○					
コーカシア	ウルチ					○				○	
トルコ	ウルチ					○					
ウクライナ	ウルチ					○				○	
ブルガリア	ウルチ					○				○	
ルーマニア	ウルチ					○			○		
イタリア	ウルチ					○					
フランス	ウルチ					○					

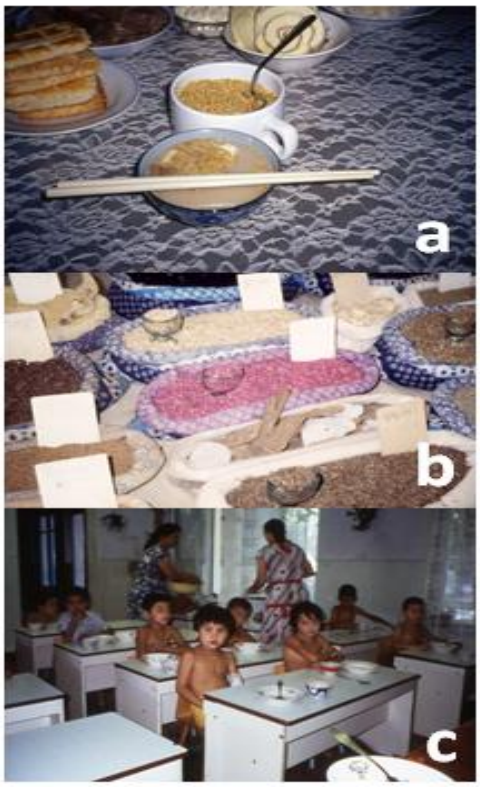


図 6.21.　内モンゴルとウズベキスタンのキビ食品

a、 炒ったキビ穀粒をミルク茶に入れて食べる（内モンゴル）。b、 染色した穀粒をノンに振りかける。c、幼稚園児の昼食ミルク粥（ウズベキスタン）。

2）加工・調理法から見た北方農耕文化

北海道に居住するアイヌの人々の伝統的なキビの調理法の中で特徴的なしとは粢しとぎと基本的には同じもので、精白した穀粒を一夜水に浸し、その後、竪臼などで湿式製粉し、生粉食品が熊祭りに供される（木俣ら　1986)。粢と同様の湿式製粉法が南インドからスリランカ、ミヤンマーを経て台湾や日本にまでおよんでいることがインド亜大陸での調査によって明らかになった（図 6.22)。南インドではアワとイネの粢に油を浸み込ませて、神々に供する燈明にしている。

極東では上述したように、キビからアルコール飲料を醸造するが、ヨーロッパでは非アルコール飲料のみである。キビから造る即墨老酒（ジモオラオチュウ）は中国山東省で、会盟を誓う固めの杯として用いられていた。この酒は穀粒に焙煎工程を加えているので、紫色を帯びた濃褐色で、独特の芳香と苦味、やや酸味のある甘さをもち、黒ビールに似ているという（花井 2008)。私たちが提供した雑種ソビボ・ピーボはこれに習って造った。ラベルは中央アジア起源説により太陽の国ホラズムを想像して、キビと太陽の組み合わせでデザインしてもらった。

図 6.23.　湿式製粉法（しとぎ）とパーボイル加工

a、コドラの湿式製粉法（インド）；b・c、アイヌ民族の湿式製粉法しと、クマに供える（原図は貝沢提供）；d・e、ヒエのパーボイル加工法、ヒエ玄穀を大鍋で煮てから、天日乾燥する。

北海道に特に関心を抱いて頻繁に訪問しだしたのは、食文化に対する関心以前に、もとはと言えば、日本列島の北方から、キビなどを伴う農耕の伝播に関する研究を始めたからである。キビはヨーロッパから、中央アジア、インド亜大陸、シベリア、中国、東南アジア、そして日本まで、ユーラシアのどこででも新石器時代以降の遺跡から掘り出されており、確かにとても重要な食料であった。今日でも、生産量こそ少なくなったが、世界中で栽培されて続けている。

私が北海道に雑穀調査に出かけ始めたのは昭和 55 年頃からである。昭和 25 年までは北海道で 8,000 ヘクタールもキビが作られていたが、25 年前ではすでに時遅く、実際に栽培していた農家は 10 戸ほどしかなかった。なかでも本州から江戸時代末期以降にもたらされた系統とは異なる在来系統を大切に保存していた人々は沙流川流域に集中していた（木俣ら　1986）。それらの開拓農家と先住民アイヌの人々から種子を分けていただいて、世界中の在来系統と一緒に東京で栽培してみたところ、北海道の在来系統の多くは、本州の地方品種よりもモンゴルやヨーロッパの系統にいくつかの特徴でとても似ていることがわかった。アイヌ語でキビ（イナキビ）をシプシケップと呼ぶそうだが、これはもともとツングース語だそうだ。そこで、北方からもキビを含む農耕文化が日本に伝わったのだと言う仮設を考えるようになった。アイヌの人々は狩猟採集民であり、農耕はしていなかったとの説が有力であったので、農耕は北海道には本州から江戸

時代に伝わったのだと多くの方が考えていたと思う。しかし、キビは北海道において少なくともAD10世紀頃の擦文期遺跡から出土している。詳細は7節で検討する。

3）パーボイル加工の効果の実験的検証

栽培化の地理的起源と加工調理法の地理的起源の関係について、さらに興味深いのは、穀粒のパーボイル加工が東インドで多くの事例がみられることである（木俣　1991）。パーボイル加工とは精白工程の前に、脱穀した穀粒を煮るか蒸かした後、天日乾燥する加工工程である。

イネやインド起源の雑穀類はパーボイルされることが多く、日本ではヒエが伝統的な黒蒸法・白蒸法というパーボイル加工技術を伴ってきた（図6.22、木俣1994）。他方、アフリカのサバンナ起源の雑穀類やムギ類、トウモロコシはパーボイル加工されない。アワもパーボイルされないが、キビはごくまれに事例（インド、ビハール）があった。すなわち、パーボイル加工法を適用するイネ、ヒエおよびインド起源の雑穀類に対して、それを適用しないキビとアワは加工方法において明瞭な差異があり、これらの加工方法の起源と伝播の様相が異なることを示唆している。そこで、キビには脱粒性が残るにもかかわらず、パーボイル加工をほとんど行わないが、比較のためにパーボイル加工の効果について検証することにした。

パーボイル加工の効果については次の5つの仮設が考えられる（木俣1991）。(1) 種子脱粒性が残る穀物を青刈りするか、あるいは刈り取り時の脱粒を防ぐため早朝の露が乾かないうちに収穫する。これらの場合には、収穫した穀粒は水分を多く含むので、籾摺りや精白工程で穀粒が破砕されやすい。したがって、パーボイル加工により穀粒でんぷんを固める。(2) 内外穎を除去しやすくするために、穀粒でんぷんを固め、これらの間に隙間を作る。(3) 種皮中の遊離アミノ酸を胚乳デンプンに浸透させて、食味と栄養価を高める。(4) 調理の前処理として加熱しておく。(5) 高温で煮ることにより、病害虫を防除して、穀粒の貯蔵性を高める。これらの仮設を検証するために、物理的効果、食品栄養的な効果、および生物的効果について実験分析を行った。

①籾摺りに関わる効果　（仮設1、2の検証）

典型的なパーボイル加工適用のイネ、ヒエ、コドラ *Paspalum scrobiculatum*、およびコラティ *Setaria pumila*、これを適用しないキビとアワを用いて、籾摺りに関わる物理的効果を調べるために、脱穀粒20ｇを実験用籾摺り機（ケット社製TR200）で処理した（5 反復）。また、穎果表面が滑りやすく、この機種では籾摺りができなかった穀粒は実験用精白機（ケット社製パーレスト）を用いて加工処理をした。籾摺り機TR200ではイネ、アワ、ヒエ、および第7章で記述するインド起源雑穀のコラティとコドラを比較対象として加工処理した。次に、キビとヒエは内外穎が滑りやすく籾摺り機では処理ができなかったので、精白機を用いて加工処理をした。

籾摺り機による処理効果は表 6.59 に示した。イネに関しては、未熟粒について破砕粉や籾付粒が少なく、玄穀粒が多いので、パーボイル加工は効果があると言える。完熟粒に関しては効果にほとんど差異はない。アワに関しては、未熟粒と完熟粒ともに、パーボイル加工は有効であった。しかしながら、ヒエ、コラティおよびコドラに関しては、破砕粉や籾付粒が多く、むしろ効果はないと見える。一方で、精白機を用いた場合は、キビ、ヒエ、コラティおよびコドラに関して、どれも有効な差異がなかった。この結果からは、明瞭な効果はアワで認められたのみだが、実際にアワはパーボイル加工されることがないので、青刈りによる未熟穀粒に対応した加工とは言えない。しかし、この実験的加工処理が伝統的に農耕者の使用する臼や杵、水車による加工法とは必ずしも合致はしないことは配慮して、検討する必要がある。

表 6.59.　籾摺りに関わるパーボイル加工の効果

試料（20ｇ）	玄穀粒ｇ	破砕粉ｇ	籾殻ｇ	籾付粒g	試験反復回数
籾摺機TR200					
イネ					
未熟粒	11.08	1.54	4.42	2.95	5
未熟粒パーボイル処理	12.66	1.12	4.34	1.88	5
完熟粒	13.37	0.39	3.63	2.61	5
完熟粒パーボイル処理	13.12	0.64	3.58	2.44	5
アワ					
未熟粒	11.14	5.30	2.11	1.46	5
未熟粒パーボイル処理	15.90	1.26	2.83	0	5
完熟粒	12.98	4.24	2.80	0	5
完熟粒パーボイル処理	15.34	1.78	2.89	0	5
ヒエ					
未熟粒パーボイル処理	0.14	0.79	1.22	17.85	1
完熟粒パーボイル処理	0.05	0.86	0.59	18.5	1
コラティ					
完熟粒	2.55	7.17	7.31	2.97	1
完熟粒パーボイル処理	1.78	9.62	6.48	2.13	2
コドラ					
完熟粒	2.56	3.40	4.43	9.61	1
完熟粒パーボイル処理	2.16	4.34	3.61	9.89	1
精白機パーレスト					
キビ					
未熟粒	15.77	0.13	4.11		2
未熟粒パーボイル処理	15.01	0.40	4.59		2
完熟粒	15.52	0.28	4.29		5
完熟粒パーボイル処理	15.10	0.18	4.71		5
ヒエ					
未熟粒	14.32	0.12	5.56		3
未熟粒パーボイル処理	14.38	0.12	5.51		2
完熟粒	14.85	0.21	4.94		5
完熟粒パーボイル処理	14.97	0.10	4.94		4
コラティ					
完熟粒	11.96	0.29	7.75		3
完熟粒パーボイル処理	11.97	0.32	7.71		2
コドラ					
完熟粒	13.04	0.04	6.93		2
完熟粒パーボイル処理	13.22	0.06	6.73		2

②食味に関わる効果　（仮設 3、4 の検証）

穀粒のパーボイル加工によって製品の味が好くなるという仮設を検討するために、加工方法によって生成品の味に主として影響するエキス成分である遊離アミノ酸とヌクレオチド、タンパク質中のアミノ酸組成について、キビ、イネ、アワ、ヒエ、コラティおよびコドラについて比較検討した。食味を決める基本的味物質は、甘味（糖、アミノ酸など)、塩味（食塩など)、酸味（酸など)、苦味（アルカロイド、アミノ酸、テルペンなど)、旨味（アミノ酸、プリンモノリボヌクレオチドなど）である。中でも旨味に関わるのはグルタミン酸とリボヌクレオチドであるので（河合 2011)、これらに焦点を合わせて分析することにした。実験方法の概要と結果は次のとおりである。

(1) エキス成分：

試料 10ｇに 80%エタノールを加えて一夜室温で浸漬した後、乳鉢で摩砕し、30 分間抽出した。試料をろ過後、同じ操作を反復し、得た上清を合一した。エタノールを除去後、50ml に定容して、分析に用いた。アミノ酸分析は日立 835 型自動アミノ酸分析計で、ヌクレオチドはセンシュウパック ODS カラムを用いる HPLC（高速液体クロマトグラフ）で分析した。

穀粒中のエキス成分の遊離アミノ酸とヌクレオチドの含量を表6.60から表6.64に示した。キビ穀粒で 100g 当たり 1 ㎎以上の成分含量について詳細な動向をを見ると（表6.60)、未熟玄穀ではアスパラギン（5.36 ㎎)、ガンマアミノブチル酸（1.21 ㎎)、およびトリプトファン（2.82 ㎎)、遊離アミノ酸合計（16.71 ㎎）で、ヌクレオチド AMP はごく微量（0.09 ㎎）であった。未熟精穀ではアスパラギンとガンマアミノブチル酸は減少、トリプトファンはほぼ同量のまま、遊離アミノ酸合計も減少した。精白することで、アミノ酸含量は減少していた。未熟玄穀と未熟精穀をパーボイル加工すると、遊離アミノ酸含量は著しく減少していた。完熟玄穀ではアスパラギン（4.52 ㎎)、グルタミン（1.08 ㎎)、トリプトファン（2.34 ㎎)、遊離アミノ酸合計（15.94 ㎎）であった。一方、完熟精穀ではアスパラギン（7.04 ㎎)、グルタミン（1.77 ㎎)、ガンマアミノブチル酸（1.29 ㎎)、およびトリプトファン（3.16 ㎎)、遊離アミノ酸合計（21.27 ㎎）であった。精白によって、アスパラギン、グルタミン、ガンマアミノブチル酸およびトリプトファン、遊離アミノ酸合計は増加していた。完熟玄穀をパーボイル加工すると、ハイドロキシプロリン（3.14 ㎎）が出現し、グルタミン酸（1.07ｍｇ)、ガンマアミノブチル酸（2.75 ㎎)、アンモニア（2.77 ㎎）が著しく増加し、遊離アミノ酸合計は減少した。他方、完熟精穀はアスパラギン（7.04 ㎎)、グリタミン（1.77 ㎎)、トリプトファン（3.16 ㎎)、および遊離アミノ酸含量（21.27 ㎎）が多かった。完熟玄穀をパーボイル加工すると、ハイドロキシプロリン（3.14 ㎎）が出現し、グルタミン酸（1.07 ㎎)、ガンマアミノブチル酸（2.75 ㎎)、アンモニア（2.77 ㎎）が増加したが、遊離アミノ酸合計は若干減少した。完熟精穀をパーボイル加工すると、アスパラギン酸（0.99 ㎎)、

アスパラギン（6.34 mg)、グルタミン酸（1.38 mg)、サルコシン（1.07 mg)、アラニン（1.18 mg)、および遊離アミノ酸合計（21.73 mg)、アデノシン 1 リン酸（0.59 mg）であった。したがって、キビの完熟精穀をパーボイル加工すると、エキス中の遊離アミノ酸含量が最も多く、グルタミン酸がやや増加傾向にあり、食味向上との関連が考えられる。

イネでは未熟玄米ではヌクレオチド（合計 28.64 mg／100g）が多い（表 6.61)。未熟精米では遊離アミノ酸（合計 2.23 mg）が多い。アスパラギン酸が増加傾向にあり、食味向上との関連が考えられる。ヌクレオチドはイネにおいて、未熟玄穀粒に比較的多く検出されたが、精白するかパーボイル加工すると減少していた。また、登熟が進むと減少する傾向にあった。しかし、アワ（表 6.62）では未熟精穀の試料では、パーボイル加工することにより、遊離アミノ酸含量合計（47.74 mg）が増加した。完熟試料にもヌクレオチドは検出されたが、しかし、パーボイル加工することによりまったく消失した。したがって、穀粒が未熟の場合にはパーボイル加工はとても有効であった。ヒエ（表 6.63）の場合は、未熟精穀粒では遊離アミノ酸含量合計（27.53 mg）が多く、パーボイル加工すると、遊離アミノ酸合計もヌクレオチドも著しく減少した。したがって、味の向上はヒエの場合には当てはまらず、他に効果を探る必要がある。コラティではパーボイル加工によって遊離アミノ酸合計もヌクレオチドも若干増加（表 6.64)、反対に、コドラではパーボイル加工によって遊離アミノ酸合計もヌクレオチドもやや減少傾向を示した。コラティとコドラでは遊離アミノ酸含量が多種に比べて少なかった。

以上の結果をまとめると、キビの完熟精穀をパーボイル加工すると、エキス中の遊離アミノ酸含量が最も多く、グルタミン酸がやや増加傾向にあり、食味向上との関連が考えられる。アワ穀粒が未熟の場合にはパーボイル加工はとても有効であった。
しかし、最もパーボイル加工を行っているイネとヒエではパーボイル加工による味の向上は当てはまらず、他にその効果を探る必要がある。コラティとコドラではパーボイル加工は味の向上には効果がない。

表 6.60.　キビ穀粒エキス中の遊離アミノ酸およびヌクレオチド含量

アミノ酸（mg／100ｇ）	未熟玄穀	未熟精穀	未熟玄穀パーボイル	未熟精穀パーボイル	完熟玄穀	完熟精穀	完熟玄穀パーボイル	完熟精穀パーボイル
フォスフォセリン	0.22	0.22	0.27	0.21	0.14	0.20	0.29	0.15
タウリン	0.24	0.19	0.32	0.23	0.17	0.24	0.47	0.20
ハイドロキシプロリン	0	0	0	0	0	0	3.14	1.50
アスパラギン酸	0.08	0.06	0.13	0.19	0.08	0.07	0.08	0.99
トレオニン	0.11	0	0	0	0.22	0.24	0	0
セリン	0.41	0.28	0.37	0.37	0.62	0.78	0.43	0
アスパラギン	5.36	3.00	2.17	0.37	4.52	7.04	0.30	6.34
グルタミン酸	0.88	0.65	0.35	0	0.39	0.61	1.07	1.38
グルタミン	0.54	0.32	0.11	0	1.08	1.77	0	0.50
サルコシン	0.05	0	0.05	0	0	0.03	0.79	1.07
プロリン	0.63	0	0	0	0.22	0.23	0.23	0.27
グリシン	0.18	0.04	0	0	0.44	0.51	0	0.55
アラニン	0.68	0.67	0	0	0.68	0.84	0	1.18
バリン	0.10	0	0	0	0.43	0.46	0	0.55
システイン	0.08	0.08	0.10	0.10	0.08	0.08	0.09	0.08
メチオニン	0.40	0.82	0	0.10	0.30	0.37	0.14	0.26
シスタチオニン	0.14	0.11	0.14	0.09	0.13	0.17	0.21	0.25
イソロイシン	0.10	0.07	0.10	0.17	0.29	0.30	0	0.36
ロイシン	0.23	0.35	0	0	0.37	0.38	0.33	0.39
チロシン	0.54	0.83	0.45	0	0.52	0.63	0.96	0.78
フェニルアラニン	0.34	0.90	0.16	0	0.30	0.34	0.49	0.22
ガンマアミノブチル酸	1.21	0.98	0.23	0.26	0.94	1.29	2.75	2.07
アンモニア	0.63	1.09	1.06	0.78	0.45	0.31	2.77	0.59
オルニチン	0.12	0.13	0	0	0.13	0.08	0.08	0.10
トリプトファン	2.82	2.87	2.18	0.33	2.34	3.16	0.22	0.62
リジン	0.10	0.10	0	0	0.17	0.13	0	0.24
ヒスチジン	0.42	0.42	0.22	0.33	0.36	0.18	0.13	0.16
アルギニン	0.10	0	0	0	0.57	0.83	0.15	0.93
合計	16.71	14.18	8.41	3.53	15.94	21.27	15.12	21.73
ヌクレオチド（mg／100ｇ）								
アデノシン1リン酸AMP	0.09		0.43	0.42	0.12	0.10	0.51	0.59
アデノシン2リン酸ADP	null							
アデノシン3リン酸ATP	null							

表 6.61.　イネ穀粒エキス中の遊離アミノ酸およびヌクレオチド含量

アミノ酸（mg／100ｇ）	未熟玄穀	未熟精穀	未熟玄穀パーボイル	未熟精穀パーボイル	完熟玄穀	完熟精穀	完熟玄穀パーボイル	完熟精穀パーボイル
フォスフォセリン	0.16	0.23	0.29	0.22	0.16	0.39	0.20	0.49
タウリン	0.24	0.24	0.36	0.49	0.25	0.45	0.15	0.22
ハイドロキシプロリン	1.20	2.39	0.61	1.37	0.53	0	0.72	1.25
アスパラギン酸	0.44	0.93	0.51	0.68	0.61	0.58	0.74	0.93
トレオニン	0.49	0.59	0.29	0.61	0.21	0.22	0.21	0.35
セリン	1.03	1.35	0.54	1.00	0.53	0.59	0.60	1.13
アスパラギン	2.81	4.21	1.02	2.20	1.99	2.71	2.08	3.00
グルタミン酸	1.51	2.38	0.98	1.66	1.71	2.02	1.83	2.16
グルタミン	0.88	0.96	0.22	0.58	0.43	0.39	0.31	0.83
サルコシン								
プロリン	0	0	0	0	0	0	0	0
グリシン	0.21	0.27	0.15	0.26	0.15	0.14	0.19	0.31
アラニン	1.37	1.65	0.91	1.46	0.98	1.11	1.13	1.61
バリン	0.75	0	0.46	0.60	0.48	0.49	0.50	0.69
システイン	0.09	0.15	0.14	0.09	0.09	0.13	0.09	0.09
メチオニン	0.19	0.28	0.12	0.11	0.09	0	0	0.16
シスタチオニン	0	0.13	0	0.12	0.12	0.15	0	0
イソロイシン	0.43	0.40	0.28	0.34	0.18	0.18	0.23	0.33
ロイシン	0.40	0.41	0.26	0.31	0.29	0.36	0.28	0.38
チロシン	0.54	0.69	0.39	0.56	0.60	0.88	0.54	0.70
フェニルアラニン	0.54	0.56	0.32	0.40	0.31	0.33	0.23	0.24
ガンマアミノブチル酸	1.62	1.72	0.35	0.47	1.09	1.25	0	0.12
アンモニア	0.23	0.37	0.39	0.34	0.30	0.40	0.40	0.27
オルニチン	0.30	0.30	0.08	0.10	0.19	0.21	0.01	0.15
トリプトファン	0.55	0.44	0	0.21	0.35	0	0	0
リジン	0.21	0.15	0	0.10	0	0	0	0
ヒスチジン	0.13	0.10	0.15	0.14	0	0.14	0.28	0.44
アルギニン	0.26	0.33	0	0.26	0	0.42	0.2	0.65
合計	16.58	21.23	8.82	14.68	11.64	13.54	10.92	16.50
ヌクレオチド（mg／100ｇ）								
アデノシン1リン酸AMP	0.89	1.49	0.73	1.04	0.84	1.26	0.89	0
アデノシン2リン酸ADP	17.4	0	0	0	0	0	0	0
アデノシン3リン酸ATP	10.35	5.5	0	4.12	0	0	0	0

表 6.62.　アワ穀粒エキス中の遊離アミノ酸およびヌクレオチド含量

アミノ酸（mg／100ｇ）	未熟玄穀	未熟精穀	未熟玄穀パーボイル	未熟精穀パーボイル	完熟玄穀	完熟精穀	完熟玄穀パーボイル	完熟精穀パーボイル
フォスフォセリン	0.17	0.18	0.26	0.30	0.16	0.16	0.21	0.17
タウリン	0	0.19	0.32	0.42	0.11	0.22	0.14	0
ハイドロキシプロリン	0.80	1.25	2.16	2.46	1.02	2.56	0.79	1.27
アスパラギン酸	0.09	0	0.55	0.75	0.19	0.09	0	0
トレオニン	0	0	0.42	0.50	0	0	0	0
セリン	0	0.20	1.32	1.50	0.57	0.42	0.16	0.20
アスパラギン	0.29	0	12.31	18.38	4.38	3.69	1.34	1.87
グルタミン酸	0.48	0	1.70	3.28	0.72	0.59	0.30	0.34
グルタミン	0	0	2.22	3.19	0.17	0	0	0
サルコシン	0.20	0.08	0.05	0.05	0.08	0.99	0.36	0.46
プロリン	0	0	2.02	2.18	0	0.46	0	0
グリシン	0.18	0.06	1.06	1.43	0.34	0	0.17	0.16
アラニン	0.13	0.12	1.53	1.79	1.35	0.28	0.77	0.86
バリン	0	0.08	0.61	0.66	0.49	0.36	0	0
システイン	0.11	0.10	0.09	0.30	0.09	0.25	0.11	0.14
メチオニン	0.11	0.10	0.45	0.46	0.03	0.17	0.19	0.20
シスタチオニン	0.15	0.22	0.21	0.18	0.27	0.28	0.22	0.21
イソロイシン	0.13	0.14	0.40	0.39	0.28	0.14	0	0
ロイシン	0.12	0.14	0.47	0.46	0.35	0.25	0	0
チロシン	0.41	0	0.78	0.82	0.57	0.69	0.33	0.52
フェニルアラニン	0.20	0	0.40	0.40	0.24	0.24	0.16	0
ガンマアミノブチル酸	0.14	0.26	0.20	0.24	2.13	2.24	0.12	0.12
アンモニア	0.36	0.02	0.48	0.49	0.41	0.72	0.48	0.60
オルニチン	0	0.16	0.13	0.13	0.10	0	0	0
トリプトファン	0	0	3.97	4.46	0.31	0.34	0	0
リジン	0	0.15	0.22	0.34	0.13	0	0	0
ヒスチジン	0.13	0.12	0.46	0.53	0.20	0.40	0.16	0.17
アルギニン	0	0.10	1.17	1.65	0.84	0.63	0	0
合計	4.20	3.67	35.96	47.74	15.53	16.17	6.01	7.29
ヌクレオチド（mg／100ｇ）								
アデノシン1リン酸AMP	0.09	0.11	0	0.05	0.41	0.14	0	0
アデノシン2リン酸ADP	0	0	7.69	0.58	7.58	0	0	0
アデノシン3リン酸ATP	0	0	7.20	0	0	8.86	0	0

表 6.63.　ヒエ穀粒エキス中の遊離アミノ酸およびヌクレオチド含量

アミノ酸（mg／100ｇ）	未熟玄穀	未熟精穀	未熟玄穀パーボイル	未熟精穀パーボイル	完熟玄穀	完熟精穀	完熟玄穀パーボイル	完熟精穀パーボイル
フォスフォセリン	0.33	0.22	0.26	0.29	0.20	0.17	0.23	0.21
タウリン	1.47	0.29	0.26	0.43	0.55	0.46	0.71	0.21
ハイドロキシプロリン	0.82	0.85	0	0	0	0	0	0
アスパラギン酸	0.99	0.11	0.11	0.11	0.13	0	0.08	0
トレオニン	0	0.28	0	0	0	0	0	0
セリン	0.29	0.71	0.29	0.29	0.23	0.22	0.24	0.23
アスパラギン	1.22	12.40	0	0	4.79	1.87	0.60	0.31
グルタミン酸	0.70	0.79	0	0	0.74	0.31	0	0
グルタミン	0	0.52	0	0	0.14	0	0	0.00
サルコシン	0.09	0.08	0.07	0.07	0.1	0.05	0.06	0
プロリン	0.55	0	2.38	2.30	1.38	0.50	0.50	2.18
グリシン	0.09	0.35	0	0	0	0	0	0
アラニン	0.53	1.31	0	0	0.09	0	0	0
バリン	0.05	0.63	0	0	0.07	0	0	0
システイン	0.08	0.09	0.15	0.15	0.15	0.14	0.15	0.13
メチオニン	0.10	0.28	0	0	0	0.10	0	0
シスタチオニン	0	0.45	0.34	0.36	0.12	0.23	0.37	0.36
イソロイシン	0	0	0	0	0	0	0	0
ロイシン	0.17	0	0	0	0	0	0	0
チロシン	0.96	1.41	0.68	0.72	0.81	0.11	0	0
フェニルアラニン	0.70	1.06	0.53	0.53	0.66	0.23	0.22	0
ガンマアミノブチル酸	2.16	1.84	0.18	0.16	2.30	1.97	0.26	0
アンモニア	2.29	0.61	3.08	3.13	2.10	1.61	2.21	3.25
オルニチン	0.13	0.12	0	0	0.11	0	0	0.00
トリプトファン	0	0.39	0	0	0	0	0	0
リジン	0	0.41	0	0	0.13	0.11	0	0
ヒスチジン	0.53	0.39	0.59	0.48	0.31	0.42	0.24	0.37
アルギニン	0.45	1.94	0	0	0	0	0.11	0.16
合計	14.7	27.53	8.92	9.02	15.11	8.5	5.98	7.41
ヌクレオチド（mg／100ｇ）								
アデノシン1リン酸AMP	0.85	0.84	0.90	0	0	0	0.89	0
アデノシン2リン酸ADP	7.28	1.26	0	0	0	0	1.98	0
アデノシン3リン酸ATP	0	0	0	0	0	0	0	0

表 6.64.　コラティおよびコドラ穀粒エキス中の遊離アミノ酸およびヌクレオチド含量

アミノ酸（mg／100ｇ）	コラティ完熟玄穀	完熟精穀	完熟玄穀パーボイル	完熟精穀パーボイル	コドラ完熟玄穀	完熟精穀	完熟玄穀パーボイル	完熟精穀パーボイル
フォスフォセリン	0.15	0.38	0.23	0.22	0.19	0.17	0.17	0.16
タウリン	0.32	0	0.47	0.33	0.24	0.10	0.23	0
ハイドロキシプロリン	0	0.63	0.56	0.58	0	0	0	0
アスパラギン酸	0	0	0	0	0	0	0	0
トレオニン	0	0	0	0	0	0	0	0
セリン	0.19	0.15	0.30	0.31	0.25	0.23	0.24	0.22
アスパラギン	0	0.3	0.92	0.49	0	0	0	0
グルタミン酸	0	0	0	0	0	0.14	0	0
グルタミン	0	0	0	0	0	0	0	0
サルコシン	0.03	0	0	0.04	0	0	0.06	0
プロリン	1.16	0	0.77	0	0.62	0	1.52	0
グリシン	0	0	0	0	0	0	0	0
アラニン	0	0	0	0	0	0	0	0
バリン	0	0	0	0	0	0	0	0
システイン	0.14	0.21	0.29	0.15	0.12	0.09	0.10	0.18
メチオニン	0	0.13	0	0	0	0.09	0	0
シスタチオニン	0.21	0.28	0.44	0.29	0.34	0.21	0.20	0.25
イソロイシン	0	0	0.22	0	0	0	0	0
ロイシン	0.56	0.50	0.78	0.82	0	0	0	0
チロシン	0	0	0	0	0	0.38	0	0
フェニルアラニン	0.19	0	0.17	0.17	0.16	0.18	0	0.33
ガンマアミノブチル酸	1.90	0	0.35	0.29	1.26	1.19	0.26	0
アンモニア	0.15	0	2.62	1.59	0.28	0.64	0	0
オルニチン	0.10	0.13	0.10	0.18	0	0	0	0
トリプトファン	0	0	0	0	0	0	0	0
リジン	0	0.10	0.23	0.26	0	0	0	0
ヒスチジン	0.19	0.13	0.16	0.16	0.21	0.30	0.16	0
アルギニン	0	0	0.15	0.26	0	0	0.10	0
合計	5.29	2.94	8.76	6.14	3.67	3.72	3.04	1.14
ヌクレオチド（mg／100ｇ）								
アデノシン1リン酸AMP	0	0	0	0	2.58	2.44	0.39	2.41
アデノシン2リン酸ADP	0	0	0	53.21	0	0	46.28	0
アデノシン3リン酸ATP	0	0	0	0	32.69	0	0	30.97

(2) タンパク質成分

エキス成分を抽出した残渣を風乾後、デシケーター（5 酸化リン）中でさらに乾燥させた。乾燥試料 1ｇに、0.3%NaCl、20ml を加えて、15 分間室温で攪拌抽出した。遠心分離により得た上清を水道水で 48 時間透析した。透析内液を凍結乾燥し、得られた粉末をタンパク質成分とした。タンパク質成分を 10 mg精秤し、脱気封緘後、110℃で 24 時間加水分解し、アミノ酸成分分析に用いた。

タンパク質中のアミノ酸は表 6.65 から表 6.69 に示した。キビの種子タンパク質中のアミノ酸組成を見ると（表 6.65)、完熟精穀においてアミノ酸含量合計（407 mg／ｇ）

が多い。未熟玄穀と未熟精穀および完熟精穀はパーボイル加工によりアミノ酸含量合計が減少し、完熟玄穀のみがパーボイル加工によりアミノ酸含量合計が増加していた。したがって、パーボイル加工は栄養価については効果がない。アワでも完熟精穀においてアミノ酸含量合計（362 ㎎／ｇ）が多く、パーボイル加工によってアミノ酸含量は著しく減少した(表 6.66)。イネでは、未熟玄米のパーボイル加工では最もアミノ酸含量(608 ㎎／g）が多かったが、完熟玄米と完熟精米ではパーボイル加工によりアミノ酸含量は減少した（表 6.67)。ヒエでは未熟玄穀においてアミノ酸含量合計（327 ㎎／ｇ）が多く、パーボイル加工によってその含量は著しく減少していた（表 6.68)。コラティでは完熟玄穀のアミノ酸含量（286 ㎎／g）が多く、パーボイル加工でその含量は減少した。コドラでは完熟精穀でアミノ酸含量（487 ㎎／g）が多く、パーボイル加工でその含量は著しく減少した。

したがって、キビでは未熟玄穀と未熟精穀および完熟精穀はパーボイル加工の効果はなく、アワでもパーボイル加工によってアミノ酸含量は著しく減少した。イネでは、未熟玄米のパーボイル加工では最もアミノ酸含量（608 ㎎／g）が多かったので、青刈りしたイネには効果があると言える。しかし、コラティとコドラに関してはパーボイル加工の効果は見られなかった。

表 6.65.　キビの種子タンパク質中のアミノ酸組成

アミノ酸（タンパク質㎎／1ｇ）	未熟玄穀	未熟精穀	未熟玄穀パーボイル	未熟精穀パーボイル	完熟玄穀	完熟精穀	完熟玄穀パーボイル	完熟精穀パーボイル
アスパラギン、アスパラギン酸	26	20	10	12	15	27	21	19
トレオニン	19	13	8	8	8	24	16	15
セリン	21	16	9	9	11	22	16	15
グルタミン、グルタミン酸	64	52	36	34	37	72	57	52
プロリン	24	18	14	12	12	30	21	19
グリシン	24	18	12	12	13	26	20	19
アラニン	30	23	14	14	16	33	24	22
バリン	22	11	8	9	11	17	16	10
システイン	1	1	1	+	+	2	+	+
メチオニン	12	11	7	8	2	16	15	8
イソロイシン	13	6	5	6	6	10	10	7
ロイシン	31	21	13	14	15	31	24	20
チロシン	14	9	+	1	1	16	3	2
フェニルアラニン	15	10	40	6	9	14	10	8
アンモニア	9	7	6	7	7	9	9	8
トリプトファン	2	1	2	2	3	1	2	2
リジン	17	11	4	6	5	16	13	11
ヒスチジン	9	7	3	13	1	10	7	6
アルギニン	32	21	12	50	14	31	24	21
合計	385	276	204	223	186	407	308	264

表 6. 66.　アワの種子タンパク質中のアミノ酸組成

アミノ酸（mg／1ｇ）	未熟玄穀	未熟精穀	未熟玄穀パーボイル	未熟精穀パーボイル	完熟玄穀	完熟精穀	完熟玄穀パーボイル	完熟精穀パーボイル
アスパラギン、アスパラギン酸	9	28	7	+	25	26	7	9
トレオニン	9	2	5	1	19	22	5	6
セリン	7	20	5	7	18	19	6	6
グルタミン、グルタミン酸	29	60	16	23	56	55	17	20
プロリン	11	22	5	9	21	25	6	6
グリシン	11	24	8	11	23	23	8	9
アラニン	11	30	8	12	28	30	8	9
バリン	8	1	4	+	+	21	4	4
システイン	3	+	+	+	+	+	+	+
メチオニン	3	2	2	1	7	4	1	+
イソロイシン	4	8	3	3	11	13	2	3
ロイシン	10	29	6	10	28	32	7	8
チロシン	+	6	1	+	5	8	+	+
フェニルアラニン	3	16	3	5	15	17	3	4
アンモニア	3	7	3	5	7	8	3	3
トリプトファン	3	1	1	2	1	2	2	4
リジン	4	15	5	5	17	18	4	4
ヒスチジン	4	9	3	3	9	10	2	2
アルギニン	5	25	8	9	26	29	7	8
合計	137	305	93	106	316	362	92	105

表 6. 67　イネの種子タンパク質中のアミノ酸組成

アミノ酸（タンパク質mg／1ｇ）	未熟玄穀	未熟精穀	未熟玄穀パーボイル	未熟精穀パーボイル	完熟玄穀	完熟精穀	完熟玄穀パーボイル	完熟精穀パーボイル
アスパラギン、アスパラギン酸	55	46	54	44	51	48	50	43
トレオニン	21	17	23	17	22	21	21	17
セリン	36	30	34	28	32	30	31	28
グルタミン、グルタミン酸	108	90	105	86	99	94	95	77
プロリン	28	24	26	21	25	25	24	22
グリシン	35	30	33	27	32	30	32	27
アラニン	41	35	37	30	37	36	33	29
バリン	21	17	35	27	33	32	29	17
システイン	2	2	1	1	2	2	1	1
メチオニン	7	6	9	8	8	9	6	4
イソロイシン	14	11	22	17	21	21	19	11
ロイシン	49	40	49	39	49	47	44	35
チロシン	27	23	28	19	27	26	18	11
フェニルアラニン	34	29	35	27	33	32	32	25
アンモニア	12	10	12	10	11	10	12	11
トリプトファン	3	2	6	5	4	4	3	2
リジン	20	17	21	14	21	20	20	16
ヒスチジン	13	11	14	10	13	12	12	19
アルギニン	58	49	64	50	58	56	58	46
合計	584	489	608	480	578	555	540	441

表 6.68.　ヒエの種子タンパク質中のアミノ酸組成

アミノ酸（㎎／1ｇ）	未熟玄穀	未熟精穀	未熟玄穀パーボイル	未熟精穀パーボイル	完熟玄穀	完熟精穀	完熟玄穀パーボイル	完熟精穀パーボイル
アスパラギン、アスパラギン酸	23	20	17	14	21	22	14	15
トレオニン	17	15	14	12	19	33	10	12
セリン	19	17	13	12	16	17	11	11
グルタミン、グルタミン酸	61	55	48	41	56	59	37	41
プロリン	19	17	16	13	17	18	13	13
グリシン	22	19	17	15	20	19	13	15
アラニン	26	22	17	15	23	25	14	15
バリン	13	11	9	8	11	12	7	9
システイン	+	+	+	+	+	+	+	+
メチオニン	3	2	3	3	2	2	1	3
イソロイシン	8	7	6	5	7	8	5	6
ロイシン	26	23	17	14	23	25	13	15
チロシン	11	6	1	3	7	4	1	1
フェニルアラニン	15	12	8	7	12	13	7	7
アンモニア	5	5	5	4	5	5	4	5
トリプトファン	1	1	2	2	1	2	2	4
リジン	16	11	10	9	12	13	8	9
ヒスチジン	10	8	7	6	8	8	5	6
アルギニン	32	25	22	26	23	25	16	18
合計	327	276	232	209	283	310	181	205

表 6.69.　コラティとコドラの種子タンパク質中のアミノ酸組成

アミノ酸（㎎／1ｇ）	コラティ完熟玄穀	完熟精穀	完熟玄穀パーボイル	完熟精穀パーボイル	コドラ完熟玄穀	完熟精穀	完熟玄穀パーボイル	完熟精穀パーボイル
アスパラギン、アスパラギン酸	19	19	13	12	24	27	14	15
トレオニン	15	14	9	8	16	18	8	9
セリン	16	14	9	9	24	27	11	12
グルタミン、グルタミン酸	55	52	36	32	88	105	40	41
プロリン	20	20	13	11	4	37	14	14
グリシン	19	19	13	12	20	22	13	13
アラニン	21	20	13	12	39	43	16	17
バリン	16	16	10	9	23	27	11	11
システイン	+	+	+	+	+	1	+	+
メチオニン	7	6	2	2	6	11	2	2
イソロイシン	9	9	6	5	13	15	6	7
ロイシン	22	22	13	12	38	43	15	16
チロシン	4	5	1	1	16	18	1	1
フェニルアラニン	11	11	6	6	26	29	9	12
アンモニア	5	5	5	4	8	9	5	3
トリプトファン	1	1	3	3	2	2	3	5
リジン	13	12	7	7	9	11	+	4
ヒスチジン	9	8	4	4	10	13	15	14
アルギニン	24	24	15	14	26	29	15	18
合計	286	277	178	163	392	487	198	214

(3) アミロースとアミロペクチンの含量

エキス成分を除去した試料を 0.5N の NaOH で抽出して、0.5N の酢酸により中和後、アサヒパック GF-710 を用いた HPLC により、アミロースとアミロペクチンの分離を試みた。標準物質として、イネのウルチおよびモチ性穀粒デンプンを用いた。アミロースは 13～14 分に 2～3 成分からなるやや広いピークとして、アミロペクチンは約 11 分に鋭いピークとして、UV(220nm)でも IR でも検出できたので、定量の可能性が示唆された。しかし、残念ながら、キビ内乳デンプンにおけるモチ／中間性／ウルチ性と倍数性との関係に関する研究はこの時点で停止したままとなった。

③害虫などによる食害への効果　（仮設 5 の検証）

キビ、アワ、ヒエ、コラティおよびコドラについて、害虫による食害について実験した（1991 年末～1993 年春)。穀粒各 20g を 4 区（2 反復)、未熟穀粒、パーボイル加工した未熟穀粒、完熟穀粒およびパーボイル加工した完熟穀粒に分けて、シャーレ中に入れて室内に放置し、病害虫の発生について観察した。すべての実験区で病虫害の発生は認められなかったので、パーボイル処理の有効性は棄却されなかった。

④パーボイル加工の効果

各仮設に対するパーボイル加工の効果は次のとおりである。未熟穀粒の青刈りあるいは早朝の刈取りによる収穫時の穀粒水分含量の過多のために籾摺りや精白工程で穀粒が破砕されやすい。したがって、パーボイル加工により穀粒でんぷんを固める(仮設 1)。また、内外穎を除去しやすくするために、穀粒でんぷんを固める（仮設 2)。実験結果によると、イネに関しては未熟粒について破砕粉や籾付粒が少なく、玄穀粒が多いので、パーボイル加工は効果がある。アワに関しては未熟粒と完熟粒ともにパーボイル加工は有効である。しかし、ヒエ、コラティおよびコドラに関しては破砕粉や籾付粒が多く、むしろ効果はない。しかし、この実験的加工処理が伝統的に農耕者の使用する臼や杵、水車による加工法とは必ずしも合致しないことがあり得る。

種皮中の遊離アミノ酸を胚乳デンプンに浸透させて、食味と栄養価を高める(仮設 3)。実験結果によると、キビの完熟精穀をパーボイル加工すると、エキス中の遊離アミノ酸含量が最も多く、グルタミン酸がやや増加傾向にあり、食味向上との関連が考えられる。アワ穀粒が未熟の場合にはパーボイル加工はとても有効であった。しかし、最もパーボイル加工を行っているイネとヒエではパーボイル加工による味の向上は当てはまらなかった。コラティとコドラではパーボイル加工は味の向上には効果がない。さらに、種子タンパク質中のアミノ酸組成に関する栄養的な効果として、キビでは未熟玄穀と未熟精穀および完熟精穀はパーボイル加工の効果はなく、アワでもパーボイル加工によってアミノ酸含量は著しく減少していた。コラティとコドラに関してはパーボイル加工の効果は見られない。他方、イネでは未熟玄米のパーボイル加工では最もアミノ酸含量(608

mg／g）が多かったので、青刈りしたイネには栄養的な効果がある。

食味向上や栄養的な効果がイネ以外では示されないので、調理の前処理として加熱しておく（仮設 4）という、調理法上の便宜的効果は考え得る。高温で煮ることにより、病害虫を防除して、穀粒の貯蔵性を高める効果（仮設 5）については、パーボイル加工の有無に関わらず病害虫は発生しなかったので、その有効性については明らかにならなかった。

3）生化学的形質から見た地理的変異のまとめ

種子の内乳デンプンのモチ／ウルチ性については、キビに関してもモチ性系統は東アジアに局在していた。また、北海道の系統を中心に東アジアでは中間性系統が認められた。

若い内外穎のフェノール呈色反応では全般に反応性系統が多かったが、中国、モンゴル、日本北海道および南西諸島、旧ソビエト連邦の中央アジアの系統では非反応性系統が多かった。

穀粒の脂肪酸組成に関しては、総脂質含量ではモチ性系統が、中性脂質含量ではウルチ性系統が高い傾向にあった。リノール酸はモチ性系統で、オレイン酸はウルチ性系統で、パルミチン酸とステアリン酸は中間性系統で、それぞれの含量が多かった。微量の脂肪酸であるアラキジン酸、エイコセン酸およびベヘン酸の有無によって 4 タイプ（AB・AE・ABE・0 型）に分類すると、これらの地理的分布には明瞭な偏りが認められ、AB 型はヨーロッパから中央アジアに、AE 型（雑草型を含む）はユーラシア全域に分布、ABE と 0 型は極東に多かった。この結果はキビの中部アジア起源と東西両方向への伝播を示唆している。ちなみに、アワではステアリン酸とアラキジン酸の含量に地理的変異があり、東アジアの系統が中央アジアの系統から系統分化したことが示唆されている（平 1989）。

穀粒のエステラーゼ・アイソザイムの変異については、日本の本州以南、韓国、中国、モンゴルおよびネパールの系統でザイモグラムの変異について高い共通性が見られ、パキスタン、インドおよび中央アジア周辺の系統では多様な変異のパターンが認められた。これらの結果も上述の伝播ルートについて肯定的である。

穀粒の脱粒を避けるために、収穫時期を早めて若干未熟のうちに青刈りするか、あるいは朝露のある早朝に刈りとると、穀粒は水分含量が多い。そこでパーボイル加工を行うのだと栽培者たちは言っている。さらに、食味が良くなるとか、病害虫を防ぐとも言う。未熟穀粒についてパーボイル加工の効果が籾摺り過程で認められたのは、イネとアワにおいてのみで、キビなどには効果はなかった。食味に関係する遊離アミノ酸は、パーボイル加工によって、キビではグルタミン酸、イネではアスパラギン酸が増加傾向にあったが、他の穀粒では効果が示されなかった。また、ヌクレオチド含量については穀類種間の差異が著しかった。栄養としてのタンパク質中のアミノ酸については、パーボ

イル加工による組成の変動は示されなかった。すなわち、パーボイル加工は主にイネに有効であって、雑穀類へは加工法の援用と考えられる。しかし、日本ではヒエがパーボイル加工を経て籾摺り、精白が容易になるという伝統的加工技術については改めて別の実験系で再検討がいる。

6.6. 言語学からの証拠

de Candolle (1883) は、キビはヨーロッパ各地でも野生に近い状態で見られ、この特性はほかの地域では疑わしく、また、エジプトには dokhn、アラビアには kosjaejb という呼称があり、歴史学および言語学的な比較からエジプトからアラビア半島にかけての地域で栽培化されたと考えた。

初期の農耕集団の拡散が語族の拡散と関連しているかもしれないという仮説は近年、多くの論議を巻き起こした。Bellwood and Renfrew(2002)はこの方法論によってオーストロネシアとインド･ヨーロッパ語族の広がりを説明しようと試みて、数年来、世界規模での農耕集団と語族に対して仮説を適用しようと企ててきた。これらの企図は、農耕地帯の主な語族の故郷と伝播史、および初期の食料生産様式の起源地と伝播史の間の明瞭な相互関係を映し出すことである。農耕/言語伝播仮説は現在では考古学、言語学や遺伝学の学問領域を超えて共同し、比較して検証が進められている。

農耕/言語伝播仮説に沿って東アジアの新石器時代の拡散を見ると、Gansu からの Bodic グループの拡散は 3000BC のヒマラヤ地域へと、Majiayao (3900～1800BC) と Yangshao 新石器文化 (5550～2700BC) の波及によって、キビとアワ *Setaria italica* P.Beauv.(最初に華北高原で栽培化された)が伝播したことを意味している。Sino-Botic はこの時期以前に Sinitic と Bodic に分かれていたのかもしれない。この伝播は 2 つのルートをとった。Majiayao 新石器文化は、主要な古内陸アジア交易ルートに沿って西方に広がり、ヒマラヤを越えてカシミールとスワットにおける北方ないしカシミール新石器文化 (2500～1700BC) を確立した。同じ時期に、Majiayao 文化集団は Gansu から東チベットを経由して南進し、南東チベット、ブータンおよびシッキムに至り、Chab-mdo および北シッキムの新石器文化を確立した。この両文化は Majiayao 新石器文化の植民的な象徴と見なせよう (van Driem 2002)。

キビの呼称について文献 (阪本 1986、河瀬 1991、Austin 2006 ほか) や各国語の辞書などで調べてまとめてみた (表 6.70)。地域によって独自の呼称がある一方で、南欧のように「mi-」、中東のように「dok-」で始まる呼称、旧ソビエト連邦の東欧では「proso」という呼称でまとまりが認められる。南アジアでは独自の呼称のほかに「chin-」に近い呼称が多い。これは中国の王朝秦「Qin」(778-206BC) から中国が China と呼称されるようになったので、これがキビの呼称にもなったとすれば、中国から伝播したことを示唆している。一方、多様な独自の呼称は栽培が古くからなされていたことを示していると考えることができる。

キビという語彙の接頭辞は東・南アジアでは主に、“*ki-*、” “*che-*、” “*va-*、” or “*ba-*” であるが、中国ではいくつもの変形が認められる。中央アジアやパキスタンの山間部では幅広い多様な変形がある。西アジアやエジプトでは主に“*d-*”である。ヨーロッパでの接頭辞も、“*mi-*” and “*proso*.”のほか多くある。キビの地方名はユーラシア全域で顕著に多様であるので、この言語資料に拠れば、キビは非常に古い時代に栽培化されて、広範囲に伝播したことを示している。

たとえば、中尾（1966）は次のように述べている。キビやアワには個別の呼称があるのに、日本語の雑穀という言葉は無理に作ったものである。他方で、日本語のムギという総括する言葉にはコムギ、オオムギ、ライムギ、エンバクなどが含まれている。ヨーロッパではムギにあたる総括する言葉はなく、コムギ、オオムギ、ライムギなどには個別の呼称がある。確立した農耕文化基本複合の上に、新たに加わった作物グループだけに総括名が生じる。アジアでは雑穀よりムギが新しく、ヨーロッパではムギより雑穀が新しいということである。

しかしながら、キビはインド亜大陸で、“*cheena*、” “*chiena*、” or “*chin*”と呼称されている。農耕／言語伝播仮説 Farming/Language Dispersal Hypothesis (Bellwood and Renfrew 2002)に拠れば、これらの地方名は中国 China と秦（古代の帝国）“Qin”から生じたと考えられる。すなわち、キビの一部の系統はネパール経由で、インド亜大陸に伝播したとみられる。

表 6.70. ユーラシアにおけるキビの地方名と古名

地域	現代名	古名
日本	kibi, inakibi, kokibi	kimi, shipshi-kepp
朝鮮	kijan	
中国	chi, shu, shuzi, nianmi, huangmi	shu
内モンゴル	horei bata	
カザフスタン	psheno	
アフガニスタン	arzan	
パキスタン		
北部	olean, chiena, cheena, bau, onu	
南部	tzetze	
インド		
北部	charai, china, sawan, cheena, chin, cheena, worga	vreelib-heda, unoo, vreehib-heda
南部	wari, tane, cheena, baragu, pani baragu, variga, varagu, katacuny	
ネパール	china	
スリランカ	mene'ri	
アラビア	kosjaejb, kosaejb, dokhn	
トルコ	dari, kundari	
イスラエル	dokhan	
エジプト	dokhn	
ギリシア		kegchros
ハンガリー	ko″les	
ロシア	proso	
ポーランド	proso	
クロアチア	proso	
リトアニア		sora
オランダ	gierst	
ドイツ	rispen hirse	
イタリア	milium	miglio
スペイン	mijo comun	
フランス	millet commun	
イギリス	common millet	mill

河瀬1991, 阪本1986ほか

6.7. 考古学からの証拠

キビの祖先種と起源地については明瞭にされておらず、長らく議論が続いてきた(たとえば、Bellwood 2005、 Church 1886、 de Candolle 1886、 Gerard 1597、 Harlan 1995、 Jones 2004、 Kimata 2009、 Sakamoto 1987、 Vavilov 1926)。ヴァヴィロフ Vavilov (1926) はキビの起源地を北中国とし、Chun et al. (2004) は黄河中流域の南部で、8000–7000 years BP.に栽培化されたと示唆している。ハーラン Harlan (1975)は 2 か所の地理的起源地、北中国と東ヨーロッパがあると示唆した。Nesbitt (2005)も同じく、この２か所で独立的に栽培化されたかもしれないとしている。

キビはヨーロッパと中国とで独立に栽培化されたと考えるのが適切であるとハーランが言ったのは、最も古いキビの出土例は中国にあり（6000 年 BC）、これにいくらか遅れてヨーロッパでも出土している（5500 年 BC）からである。その後、さらに各地で遺跡発掘が進み、ヨーロッパでは 6,500 年 BC の出土事例がある。

中国起源とした場合、これほど早く東から西に伝播した栽培植物は他にないので、説明が難しいのである。そこで、阪本はアワの遺伝学的な研究を根拠にキビも中央アジアで栽培化されて、中国とヨーロッパの東西方向へ同時に伝播したのではないかと考えた。ハーランは他に新しい研究資料が出れば、寛容にも自説はすぐに変えると言っている。キビとアワはオオムギやコムギと同じく、ヨーロッパとアジアを東西に連続した大陸ユーラシアとしてみる自然･文化的な視点を与えてくれた。

ステップの遊牧民も農耕をしなかったと多くの方は考えておいでであろうが、キビはユーラシアの北方ステップをつなぐ栽培植物である。13 世紀のジンギスカンの軍隊はキビを食べていた。今日でも、図 6.21 に示したように、モンゴルや中央アジアで遊牧に近い暮らしをしている人々はキビのミルク粥あるいはそれに類した食品を食べている。乾燥に耐え、ごく短期間で稔るキビは、草の多い夏営地に居るうちに十分収穫できる。このため、生業を 1 つだけの類型にまとめるのではなく、遊牧民の行動力と複合的な生業を評価すべきであると考え始めた。大胆な考えかもしれないが、農耕に適さないと考えられてきた中央アジアのステップで遊牧民がキビを栽培化して、ユーラシア大陸各地に伝播した可能性にとても興味がわいてきた。

さてそれでは、ウマの祖先の実用的な利用はいつからだろうか。2000 年 BC 以降の文化伝播の早さは乗用のウマの家畜化によるといわれている。4000 年 BC の頃にウマは中央アジアで馴化が始まっていたようだが、どれほどの程度まで家畜化され、遊牧民の移動力を支えていたのだろうか。新しい調査研究技術によって植物性の発掘物が再点検され、また、ドゥ・カンドルに始まる言語比較による農耕文化の伝播研究も大きく進展してきている。

キビの野生祖先種と栽培化の場所は不明であるが、6、000BC 頃に、トランス・コーカシアと中国において、最初に穀物として発見されている。Zohary and Hopf (2000) は、キビがカスピ海と新疆の間のどこかで起源したようだと示唆している。7 千年紀 BC に、キビの遺残が出土した最初の場所はユーラシア大陸の両側である(Jones 2004)。さらに、Sakamoto (1987)は中央アジアとインド亜大陸の北西部の範囲であると示した。キビは南東イランの Tepe Gaz Tavilla の 6 千年紀 BC で見つかっている。

キビの栽培化の説明の一つとして、第四紀完新世 Holocene における素早い気候変化が挙げられる。Meadow（1986)は、この乾燥地で降雨を補足する洪水のおこぼれを用いて春作物または秋作物として栽培していた、と示唆した。同様に、農夫たちは冬季の洪水後にガンジス川流域でキビを栽培している。重要だが不十分な調査地域を経由した可能な伝播経路を確定するために、このような詳細な地域分析は中央アジアにおけるキビ

の起源についての思考を今後確証すべきである(Hunt and Jones 2006)。しかしながら、キビの祖先種と起源地はいまだに明確になっていない。

Bellwood (2005) は次に記すように、最近の考古学的研究に基づいてキビの起源と伝播に関しての最近の思考を要約した。キビはおそらく中央アジアで起源した (Sakamoto 1987、 Zohary and Hopf 2000)。新石器時代の植民者たちはここから、アフガニスタン、ロシアのステップ地帯、さらに西中国へと移住して行ったようだ。キビはヨーロッパとユーラシアのステップ地帯の新石器時代文化で広く報告されてきたが、しかし、既知の最も古い栽培時期は北中国、おおよそ 6、500BC 以後であると思われる。南東イランで最初に知られたのは 6 千年紀 BC（Meadow 1986）、北西イランで c. 1、550 BC で(Nesbitt and Summers 1988)、南アジアではおおよそ 2、600 BC (Fuller et al. 2001)であった。

キビは Dadiwan 大地湾文化（6000～5000BC）、Yangshao 仰韶文化（5000～3000BC）の 2 つの遺跡で記録されている（An　1989）。Chun ら（2004）はキビとアワが 8000～7000aBP の間に黄河高原の南部で栽培化された。しかし、この地の北部では天水による穀物栽培は衰退し、遊牧または遊牧優先文化が ca. 3600aBP から起こってきたと述べている。

Cohen（1998）によれば、4 倍体のキビ（2n=4X=36）の祖先種はまだ分かっていない。キビが中央アジアで最初に栽培化されたとすると、中国は第 2 次多様性中心である。キビはアワとタイマ *Cannabis sativa* L. とともに数少ないステップ起源の栽培植物である（Harlan　1992）。乾燥に強く、肥沃でないアルカリ土壌でも粗放な栽培が可能である。キビは Dadiwan 文化（6000BC 初期）などの 10 ヶ所の遺跡から少量しか発見されておらず、このことは相対的に伝播が遅いことを示唆し、中央アジアから北中国へと伝播した可能性をうかがわせている。

ベルギーの鉄器時代の遺跡から出土したキビは量的に多いので、主要な穀物であったようだ（de Ceunynck 1991）。北ドイツの新石器時代の遺跡からも見つかっている（Hopf 1982）。フランスの西部では青銅器時代早期（1800-1500BC）に、地中海地域ではおおよそ 3000BC に、南部では青銅器時代終期（1100-700BC）と鉄器時代に出土している。キビの祖先野生種はまだ不明確ではあるが、野生型（*P. miliaceum* subsp. *ruderale* (Kitag.) Tzvelev = *P. spontaneum* Lyssov ex Zhuk）は中央アジアからモンゴル・中国に広く生えている。ギリシアの d'Argissa では無土器時代（6000-5000BC）に、中央ヨーロッパでは 4400-4000BC の遺跡で見つかっている（Marinval　1991、1995）。

北西イランの Haftavan で 1550BC の層でたくさんのキビが見つかった。キビは北方からイラクとトルコに伝播したと考えられる（Nesbitt and Summers 1988）。中央アジアの農耕社会は 6000BC 初頭までに興って、野生的な特性を残した栽培植物がインド亜大陸に伝播したと考えられる。北アフガニスタンの Shortughai とパキスタンの Pirak では 2000BC の層から出ている。キビは早熟で、乾燥に強いので、旱魃の年にはオオムギやコムギに対して有用であったと考えられる（Willcox　1989、1991）。Indo-Greek 期（遅い 1000BC）にはカシミールからキビが出ている（Lone et al. 1993）。de Wet（1995）

は伝播の時代とルートはまだ不明瞭であるが、キビは中央アジアかアフガニスタンからインドに伝わったと考えている。なぜなら、インドのキビはアフガニスタン、中国および旧ソビエト連邦で生じた race patentissimum に分類できるからである。

初期のハラッパーの新石器時代遺跡（4000～2550BC）からは中心地域でオオムギとコムギ、辺縁地域からキビが出土している。この時代は冬作物にとって土壌や気候が不適となり、夏作物が栽培されるようになったようだ。隆盛期になるとキビは広く出土が見られるようになる（Weber 1996、 Fuller 2002）。

Zohary and Hopf（2000）はキビがもっとも強い穀物であり、暑熱、痩せた土壌、度重なる旱魃に耐え抜き、早熟ゆえに短い雨季があれば十分に生育するので、キビこそ古典的な雑穀であるとしている。祖先野生型は明らかではないが、キビの雑草型（*P. miliaceum* subsp. *ruderale*）は、西ではアラルーカスピ海盆地から、東ではシンチャン・ウイグルとモンゴルまで、中央アジアに広く分布している。最近では、脱粒性をもった雑草型が中部ヨーロッパと北アメリカに広がっている。おそらく、中央アジアの広大な半乾燥地帯に雑草型ばかりでなく、本物の野生型が残っていると思われる。しかし、中央アジアでは早い時期の考古学的証拠がいまだにないが、不十分な考古学資料でも、中央アジアで栽培化されただろうという考えは捨てきれない。

Jones（2004）の見解では、キビの発掘を伴う遺跡で最も早い時期は、中国の Dadiwang、Peiligan 裴李崗、Xinle などで 7000 cal BC、他方、ヨーロッパの Thessaly（ギリシャ）や、ポーランド、ドイツなどの線帯紋土器文化 LBK 遺跡でも 7000～6000 cal BC である。キビは詳細な遺伝的研究について関心を払われてこなかったが、その考古植物学資料はとても興味深い。キビの祖先野生種は限られた地域にしか存在しない。Zohary and Hopf（2000）はアラルーカスピ海盆地から LBK 遺跡のある地域にまで祖先野生種の分布の可能性を広げている。この広大な地域でキビの栽培化が起ったのは特異な事例で、これを説明するには 3 つの方法がある。第 1 に、農耕の伝播速度に関しては、重要さの順で Bellwood（2001）の解釈は恐らく誤っており、大概の報告された事例では新石器時代の雑穀栽培者が大陸を横断する展開速度と比べて極端に遅かったのかもしれない。第 2 に、Bellwood の伝播速度は正当な順序であるが、キビの栽培化は余りにも早く起り、中国は西の肥沃な三日月地帯よりも何千年紀も古い農耕の揺籃の地であったのかもしれない。第 3 に、ヨーロッパと中国でのとりわけ集中的な考古学研究が数次にわたる栽培化の両極端のみを取り上げているのかもしれない。キビもアワと同様に祖先野生種が分布する広い範囲で数次にわたる栽培化が行われたのであろう。したがって、農耕／言語伝播仮説はキビの栽培化のような、あまりにも早く起こった生態的移行過程とは切り離す必要があるだろう。

日本の北海道に近い地域では、3000BC 以降のアムール流域から沿海州にかけての遺跡からキビが出土している（加藤 1988）。北海道では少なくとも擦文期の遺跡から確実にキビが出土しており、アイヌ民族の遺跡（900AD）からフローティング法によって 2

番目に多く出土している（松谷 1984、 Crawford and Yoshizaki 1987）。

6.8. 植物的起原および地理的起源

何千年も前からこれほど重要な栽培植物であったのだが、驚くなかれ、キビの植物学的な祖先種も地理学的な起源地も、まだ確定されていないのである。もちろん、諸説がないわけではない。たとえば、A.ドゥ・カンドル（1883）のエジプト説、N.I.バビロフ（1926）の北中国説、J.R.ハーラン（1975）のヨーロッパ・中国独立説、阪本寧男（1987）の中央アジア説などがある。エジプト説は否定的だが、後の 3 つはそれぞれに支持者があり、今のところ有力さは順番どおりである（図 6.24）。

1）これまでの諸説

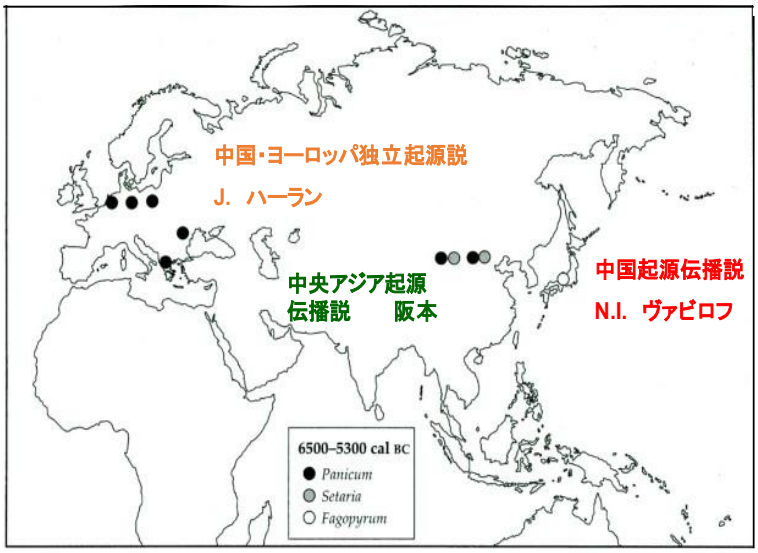
キビはユーラシア全域の新石器時代を支えた最も古い栽培植物の 1 種でありながら、未だに植物学的な起原、すなわち祖先野生種が明らかになっていない。一方、上述したように栽培化の地理的起源については諸説がある。Vavilov（1926）はユーラシア各地のキビの詳細な分類地理学的解析から、形態的多様性はモンゴルや中国など東部アジアおよび西トルキスタン各地など中央アジアにおいて高く、また、ヨーロッパ地域では南東部に向かうほど高いことを認めて、モンゴルと中国北東部で栽培化されたと考えた。その後、キビは遊牧民によってアジアからヨーロッパに伝播したと推測した。

Harlan（1995）は、キビは集中的に研究されてきておらず、ユーラシアにおける考古学的調査も不十分であるので、キビの地理的な栽培起源地について次の 3 つの可能性を示唆した。①中国で栽培化され、新石器時代の 4000BC 以前にヨーロッパに伝播した。②ヨーロッパで栽培化されて、中国に伝播した。③複数の地域で栽培化がなされた。この時代に広く伝播した栽培植物の事例はほかにないし、中国の作物は非常に遅い時代になってからしかヨーロッパに伝播していない。したがって、現在の乏しい知見では東西で独立的に栽培化されたと考えておくのが適当であろうとした。Nesbitt（2005）もトランス・コーカシアと中国における独立的な栽培化（約 6000BC）を支持している。

キビは栽培型でも在来品種によっては雑草的で脱粒性が著しく、北アメリカのミシシッピー上流域で強害雑草になっている。ヨーロッパ・ロシアから東部シベリアにおいても雑草的で、帰化しており、あるいは逸出したかどこにでも生えている。非常に注意深く分析しないと、雑草的系統から野生系統を区別することは、不可能でないとしても困難である。同様に、Harlan（1992）は作物・雑草複合について興味深い指摘をし、雑草と作物はしばしば共通の祖先系統から出ていて、作物が随伴雑草をもっている所では作物・雑草複合の状態にあると述べた。とても厄介なのは 2 次起源作物形成のような異種間での擬態ではなく、同種間の擬態である。実際に、キビは種内に擬態随伴雑草をもっており、祖先野生種を明らかにするためには確かに注意深い解析をせねばならない。

中尾佐助（1967）はインド亜大陸にはキビ属植物の野生種が多く、また、近縁種のサ

マイがインドで栽培化されたことを考慮して、キビはインドあるいはインド北西部で起源し、地中海方面と西北方向のヨーロッパに伝播したとしている。Sakamoto（1987）は次の 5 点から、キビは中央アジア、アフガニスタンからインド亜大陸北西部で栽培化されて、ここから東西の両方向に、ヨーロッパと中国に伝播したとしている。すなわち、①キビは東アジア、ヨーロッパばかりでなく、中央アジアや中東の新石器時代の遺跡からも出土しており、ユーラシア中で栽培された最も古い栽培穀物である。②伝統的な調理法がユーラシア全域で今も見られる。③植物学的特徴の多様性が東アジアばかりではなく、中央アジア周辺地域でも見られる。④栽培型にごく近縁の雑草型が北中国、中央アジアおよび東ヨーロッパに広く分布しており、この雑草型が祖先種であると推測される。⑤多様性の中心は必ずしも起源地ではなく、中国は多様性の 2 次的中心と考えることができる（阪本 1986）。



Archaeobotanical records of Panicum miliaceum, Setaria italica *and* Fagopyrum *spp. Falling between 6500–5300 cal* BC *(source references in text).*

（Jonse　2004）

図 6.24.　キビの地理的起源と伝播に関する諸説

2）追加した諸資料からの見解

6.3 節で見てきたように、北海道のおおかたの系統は赤紫色の柱頭をもつが、本州以南の系統では赤紫色はまれであり、おおかたは白色か薄紫色である（Kimata *et al.* 1997）。モンゴル（33.3%）、ネパール（0%）を除いた南アジア（60.0%）、西アジア（73.1%）では赤紫色の柱頭をもつ系統が多い。さらに、穂首の有毛性の系統は、北海道（37.5%）、中国（10.0%）、西アジア（23.1%）、ヨーロッパ（18.6%）に見られた。

6.4 節では北海道のほとんどの系統はフェノール呈色反応がなく非反応性であり（Kimata and Negishi 2002）、それゆえ、上述してきた結果からも北海道の系統の多く

は日本の他地域の系統とは明瞭な差異がある。北海道の他の系統は本州以南の系統と類似しているので、本州経由の南方ルートで北海道に伝播したようだ。
北海道には少なくとも千年以上も前に、北アジアからオホーツク海を渡ってきた先住民族、アイヌ、ギリヤークおよびオロッコの人々がいる。余談ながら、アイヌはアイヌ語で人間のことで、私はシャモ（アイヌ語で日本人）ではあるが、アイヌの友人からは当然ながらピリカ・アイヌと認められてのち、打ち解けた台所の話をしていただけるようになった。古い神話の一つによると、アイヌの人々は祖先神オキクルミカムイが天国からもたらして授けたヒエを栽培して食用にしてきた。北海道の擦文期（7～10 世紀）の遺跡からは、穀物の炭化物が出土し、走査電子顕微鏡での観察でキビであることが分かった（松谷 1988)。アイヌの人々は今でも少量ではあるがキビを栽培しており、神々への供物および自らの食物として用いている。キビはイナキビ、アイヌ語ではシプシケップ sipskep と呼ばれている。この用語はツングース族の言葉 pikse から変化したと言う。さらに、キビはシベリア各地の多くの遺跡（3000BC）から出土している（Kato 1988)。キビの北方から日本への伝播ルートはこれらの事実からも支持されている。

オホーツク文化（3～13 世紀）は北海道北岸、樺太、南千島の沿海部における海洋漁労民の文化と言い、北海道では 5～9 世紀の遺跡が分布しており、後期には擦文文化の影響を受けたようだ。オホーツク人はアムール川河口付近のニブフ族に近く、アイヌ民族との遺伝的共通性も明らかにされている。続縄文時代（3 世紀 BC～AD7 世紀）は本州の弥生・古墳文化に並行するとされ、寒冷な自然環境により稲作が受容できなかったので、縄文文化を引き継いでいるという。この後の擦文文化（7～13 世紀）では、狩猟のほか、雑穀農耕によりムギ、アワ、キビ、ソバ、ヒエ、緑豆などを栽培していた（瀬川 2016、ウィキペディア 2021.6、吉崎昌一 1995)。ただし、今のところ信頼できる出土事例は AD700～900 であり、この点からはオホーツク人がキビを北海道に伝播して、擦文期にアイヌ民族の人々がキビを栽培していたとまでしか言えない。さらなる出土事例が求められる。

山田（1998）は次のように指摘している。擦文文化が成立した頃、東北北部から北海道にアワ、キビ、オオムギ、コムギなど十数種類の作物が伝播したように、オホーツク文化期にオホーツク沿岸部の集団にもオオムギだけでなくアワ、キビと言った作物が伝播していた。擦文文化の遺跡ではアワとキビが主で、その他いくつかの作物が加わっていたが、同時代の東北北部の遺跡ではキビの出土事例は少なく、キビの代わりにヒエが加わっている。この組み合わせの違いが伝播系統の違いを示しているようだ。

新石器革命は生物との間の共生関係、植物と人々の共進化を確立した(Harris　1989)。生育適期が短い乾燥した草原に生育するキビの祖先野生種は早生、著しい種子脱粒性、まばらな花序、小さな種子、多分げつ性、薄茶色の内外穎、無毛の第１節間をもっていたと推定できるので、類似の特徴をもつイヌキビのうちの野生型変種が植物学的起原を与えたと考えられる。氷河期後の温暖・乾燥化によるユーラシア中緯度における草原の

発達にともない、イネ科草本を食物として求める草食動物を追う狩猟・採集の民が中央アジアにいた。彼らは食料・飼料としてイヌキビが利用できることに気づいた。その後、狩猟・採集しつつ、半栽培・半遊牧の民に文化的進化した彼らが比較的移動しない夏季にイヌキビの種子を播き、栽培化の初期過程に進んだ。彼らの遊動は中央アジアから西に向かって北東ヨーロッパには直接伝播し、遊牧文化の有用な食料兼飼料になり、南東ヨーロッパには西アジア経由で伝播したと考えられる。東に向かって中国へと伝播し、農耕文化複合の穀物として洗練され、中国は 2 次的な多様性中心となった。その後、たとえば、フビライの軍勢はキビを主要な兵糧としていたので（ルブルク 1253－55AD)、中国からも新たなヨーロッパ方向への伝播が重ねてあったのではなかろうか（図 24)。中央アジア周辺の在来品種は今日でも著しい多様性を示し、イヌキビも生育している。いまだに古い年代の発掘事例がない点は弱点であるが、半栽培・半遊牧の段階の遺跡を発見し、キビを発掘することはとても困難であると推察する。総合的に考えると、キビは中央アジアでイヌキビの野生型亜種から栽培化されたのではないかと考えられる。中央アジアとはトルキスタン、アフガニスタン、東イラン、北西インドおよびパキスタンを含む地域である (Filatenko ら 1997)。今のところ、Sakamoto(1987)および Zohary and Hopf(2000)の中央アジア起源説を支持するが、さらにアラル海から南西の天山山脈周辺へと地理的には焦点を絞っておきたい。

キビの植物学的起原、栽培化過程および地理的伝播については上述の研究結果から考察し、統合的な結論として次の仮設を導いた。さらに、キビとその近縁種の系統についてさらにいくつかの遺伝学的な形質の地理的変異について詳細な研究が必要ではあるが、ここに提示する仮設はユーラシアにおける系統間の交雑稔性、いくつかの地理的変異によって支持されている。初期の栽培化過程は中部アジアで始まり、中国方向へと連続的に伝播して行った。キビの栽培型は中央アジアから南アジア直接的にヨーロッパに、間接的に西アジアを経て南東ヨーロッパに広がっていった。

他方で、キビは中国から日本や南東アジアに伝播したと考えられる。近東地域でオオムギとコムギを栽培していた古代の農耕民はキビを必ずしも受容する必要はなかった。しかし、ユーラシアのステップ地帯を巡る遊牧民は、現在のモンゴルの牧夫と同じように、食料としてキビを喜んで受容したと考えられる。なぜならば、彼らが定住的な短い夏季の間に、キビは早熟で収穫できるし、家畜の飼料としても価値があるからである。遊牧民はキビを中央アジアから中国とヨーロッパに伝播した。キビは異なった緯度の南北方向で南ヨーロッパに伝わるよりも、同じ緯度の東西方向で、ヨーロッパにより早く伝播した。キビは夏季に素早く育ち、オオムギとコムギは冬季にゆっくり生長する。

日本北海道に居住するアイヌ民族が栽培してきたキビの伝統的系統は北中国とモンゴルの系統と穂型と開花期までの日数で類似し、本州以南の系統は韓国やネパールの系統と、穂型や柱頭色で類似している(Kimata et al. 1986)。穎色と穂型の大きな変異性は旧ソビエト連邦とヨーロッパの系統でも見られる。インドと西アジアの系統は多くの形質

で非常に著しい変異がある（表 6.4)。ユーラシア全域で系統間を比較すると、アフガニスタン、パキスタン、インド、および中央アジア周辺地域の系統は、疎穂型や多分けつ性を含む多くの形質で大きな多様性をもっている。キビの栽培化過程と伝播経路を再構築するために、諸形質の地理的分布は、生物文化多様性、特に食物と地方名（表 6.58, 表 6.70）を含み、有効な情報である(Kimata 2016)。

本節の結果資料からして、キビの祖先型は早熟で、著しい種子脱粒性、疎穂型、小さい穀粒、多分けつ性、薄茶色の内外穎、白い柱頭、無毛の穂首、およびウルチ性の内乳デンプンを持っていると考えられる。通常、穀物の栽培型は野生型よりも有効分けつ数が少ない。中央アジアとインド亜大陸の多くの系統は祖先的ないくつかの形質を示している。キビの栽培型に関連した擬態雑草型に関してはほんの少ししか情報がない(Sakamoto 1988、 Scholz and Mikolāš 1991)。しかし、顕著な種子脱粒性をもついくつかの雑草型がパキスタン、ウズベキスタン、カザフスタンの現地調査で見つけられた(Kimata 1994、1997)。これらの種子は栽培型の収集種子に混ざっていた。中央アジア周辺の系統が大きな変異を示し、今日も近縁の雑草的亜種が生育しているので、この地域はキビが栽培化された場所として妥当である。その上、雑草型は 2 亜種、*ruderale* と *agricolum*、および栽培型から逸出し、栽培型に類似した雑草的生物型 biotype に分類された。亜種 *ruderale* が祖先種で、亜種 *agricolum* は栽培型が亜種 *ruderale* と自然交雑して雑草になったと考えられる。すなわち、キビ *P. miliaceum* はその亜種 *ruderale* の野性系統を植物学的起原として栽培化されたのである。雑草型亜種 *ruderale* （PC47）を種子親とした場合、この系統はまったく他の系統の花粉を受け付けない。花粉は稔性があるのに、受精させられないので、これは除雄の技術的問題なのか不明確である。これまでの調査や実験結果から考察したキビの栽培化過程を図 6.25 に示した。栽培植物であるキビにおいても人為選択の枠外で、他の野生種と同様に自然交雑も起こし、自然選択も受けて、種内分化を進めて多様性を豊かにする小進化をしている。

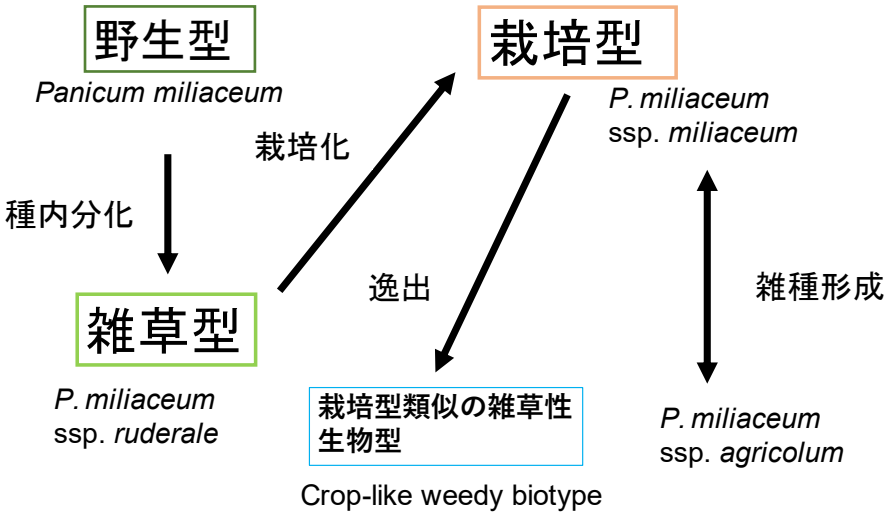


図 6.25.　キビの栽培化過程

地理的起源地はアフガニスタンとパキスタンの北部山岳地帯を含み、アラル海から南西天山山脈までの中央アジアである。この地から東方向に中国へ、西方向にヨーロッパへ、南方向にインド亜大陸へ(de Wet 1995)、北方向にシベリアへ、新石器時代以降に遊牧民によって拡散、伝播された（図 6.24)。さらに、13 世紀にヨーロッパを侵略したモンゴル軍はキビを兵糧としていた(Carpine 1246)。形態的形質（図 6.17）および AFLP マーカー（図 6.20）による系統群中に、少数の中国系統がヨーロッパ系統に混ざっていることは、モンゴル民族によるキビの伝播を示唆している。

加えるに、日本北海道に居住するアイヌ民族の栽培してきた伝統的系統は、穂型や開花までの日数において、北中国やモンゴルの系統と類似しており、他方で、日本本州以南の系統は、穂型、柱頭色、穎のフェノール呈色反応性において、韓国やネパールの系統と類似している(Kimata et al. 1986、 Kimata and Negishi 2002)。日本北海道の系統 PC57-2 は中央アジア、インドおよび日本の花粉親テスターとの間に稔性のある雑種を作ることから、日本北海道に北中国からの北方伝播経路が示唆される。

キビの祖先種はイヌキビ *P. miliaceum* subsp. *ruderale* の野生型であったようだ。初期の栽培化過程は中央アジア周辺で始まり、中国への連続的な伝播過程が進んだ。さらに、栽培型は中央アジアから南アジアへ、直接的にヨーロッパへ、間接的に西アジアを経て南東ヨーロッパへと拡散、伝播した。

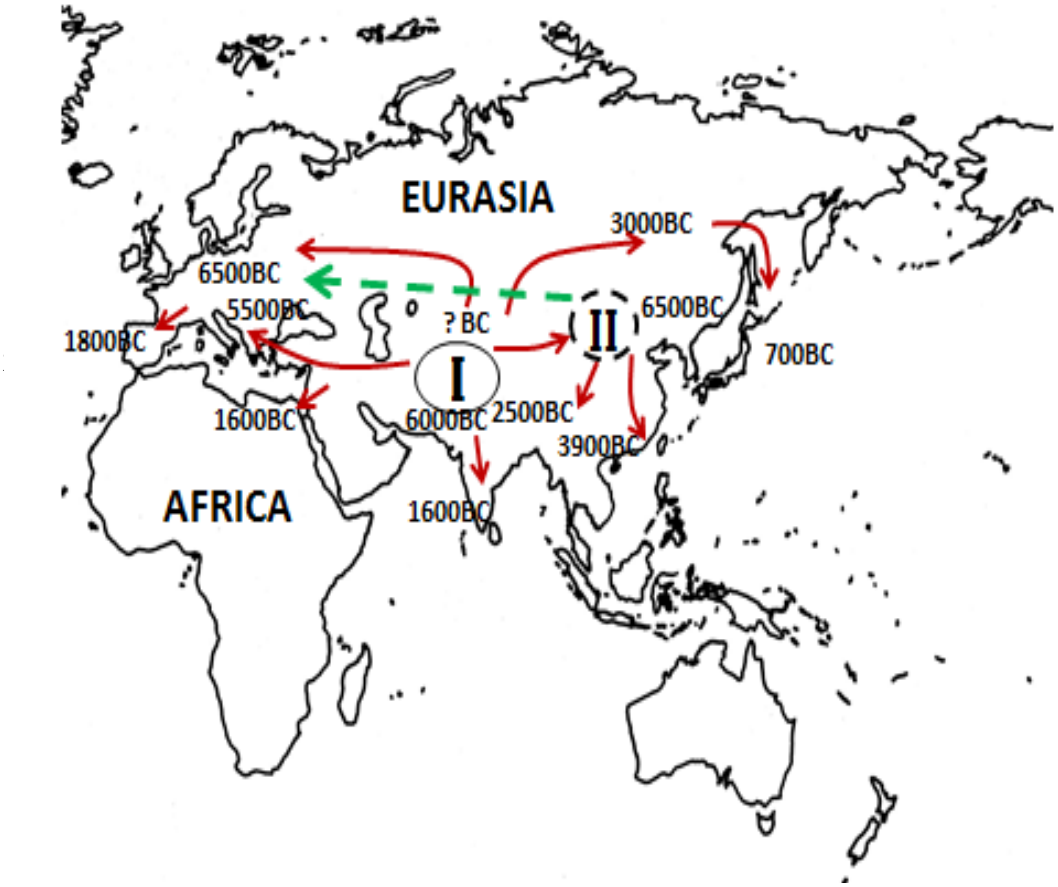


図 6. 26.　キビのユーラシアにおける伝播経路

I, 地理的起源地、II, 二次伝播センター。実線は中央アジアからの古伝播経路、破線は中国からの 13 世紀における伝播経路。

関連文献

木村幸子・木俣美樹男 1982、キビの地理的変異について―北海道産を中心に、日本生態学会関東地区大会。

木俣美樹男・木村幸子・河口徳明・柴田一 1986、北海道沙流川流域における雑穀の栽培と調理、季刊人類学 17（1）: 22-53。

木俣美樹男 1988、キビの地理的変異と分化、国立遺伝学研究所研究集会。

木俣美樹男 1988、キビの地理的変異と分化、第２回雑穀研究会。

木俣美樹男 1988、キビの地理的変異と分化 II、日本植物学会第５３回大会研究発表記録。

木俣美樹男 1988、雑穀の栽培と調理、（佐々木高明・松山利夫編）畑作文化の誕生、日本放送出版協会、東京。

木俣美樹男、1991.「インドにおける雑穀の食文化」、阪本寧男編『インド亜大陸の雑穀

農牧文化』、pp.33-98、東京：学会出版センター。
木俣美樹男1991、キビの地理的変異と分化II、日本植物学会第５６回大会研究発表記録。
木俣美樹男 1992、キビの地理的変異と分化 III、日本植物学会第５７回大会研究発表記録。
Kimata、 M. and S. Sakamoto、 1992. Utilization of several species of millet in Eurasia. *Bull. Field Studies Inst.*、 *Tokyo Gakugei Univ.* 3:1-12.
M.Kimata ed.1993、 Cultivation and utilization of millets and other grain crops in west Turkestan、 M.Kimata ed.、 A preliminary report of the studies on millet cultivation and environmental culture complex in west Turkestan、pp. 1-17、Tokyo Gakugei University.
木俣美樹男 1993、イネ科キビ属の栽培植物・雑草の起源と伝播に関する民族植物学的研究、(研究課題番号 02455010) 科学研究費補助金研究成果報告書。
木俣美樹男 1994、キビの地理的変異と民族植物学、種生物学研究 18：5-12。
木俣美樹男、雑穀を未来につなぐ、Arctic Circle 56:4-9.
木俣美樹男、1994. 「キビの地理的変異と民族植物学」『種生物学研究』18:5-12。
木俣美樹男 1996、西トルキスタンにおけるイネ科栽培植物の地理的変異と耐乾性・耐塩性評価（研究課題番号 06660417）科学研究費補助金研究成果報告書。
木俣美樹男 1997、キビの栽培化と伝播およびその利用、第 39 回日本育種学会シンポジウム報告 pp.63-66。
木俣美樹男、1997. 「キビの栽培化と伝播およびその利用」『育種学最近の進歩』39:63-66。
Kimata、 M. and M. Negishi. 2002. Geographical distribution of proso millet、*Panicum miliaceum* L. on iodostarch and phenol reactions; with special reference to a northern propagation route into Japanese Islands. Environmental Education Studies 12: 15-22.
Kimata M.、T. Kawamura、T. Maeno and S. Endo. 2006. Fatty acid composition of neutral lipids in seed grains of *Panicum miliaceum* L. Ethnobotanical Notes 2:8-13.
Kimata、 M、 T. Kawamura、 T. Maeno and S. Endo. 2007. Fatty acid composition of neutral lipids in seed grains of *Panicum miliaceum* L. Ethnobotanical Notes 2: 8-13.
木俣美樹男 2009、キビ *Panicum miliaceum* L.の栽培起源、国立民族学博物館調査報・ドメスティケーション―その民族植物学的研究、84：205-223。
Kimata、 M. 2016. Domestication process and linguistic differentiation of millets in the Indian subcontinent. Ethnobotanical Note 9: 17-24.
Kimata 、 M. 2016、 Domestication and dispersal of *Panicum miliaceum* L. (Poaceae) in Eurasia、 Ethnobotanical Notes 9:52-65.

引用文献

Ambasta、 S.P.、 S.K.、 Ramachandran、 K. Kashyapa and R. Chand 1986、 The Useful Plants of India. Publications and Information Directorate、 CSIR、 New Delhi.

Applied Biosystems. 2005. AFLP Plant Mapping Protocol. Foster City、 CA.

Austin、 D.F. 2006. Fox-tail millets (*Setaria*: Poaceae) – abandoned food in two hemispheres. *Ecomomic Botany* 60(2):143-158.

An Zhimin. 1989. Prehistric agriculture in China. In D.R.Harris and G.C.Hillman (eds). *Foraging and Farming*—The Evolution of Plant Exploitation. pp.643-649. Unwin Hy、an、 London.

Bai G.、 M. Ayele、 H. Tefera、 H.T. Nguyen. 1999. Amplified Fragment Length Polymorphism Analysis of Tef [*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter]. Crop Sci 39: 819-824.

Becker-Dillingen、 J. 1927、 Handbuch des gesammten Pflanzenbaues 1.

Bellwood、P. 2001. Early agricultural diasporas? Farming、languages、and genes. *Annual Review of Anthropology* 30:181-207.

Bellwood、 P. and C. Renfrew. 2002. Foreword、 In P. Bellwood and C. Renfrew (eds.) *Examining the Farming/Language Dispersal Hypothesis.* pp.xiii－xiv. McDonald Institute for Archaeological Research、 University of Cambridge.

Bellwood、 P. 2005. First Farmers – The Origins of Agricultural Societies. Blackwell Publishing、 Oxford.

Bellwood、 P. and C. Renfrew (ed.). 2002. Examining the farming/language dispersal hypothesis. University of Cambridge、 Cambridge.

Bor. N.L. 1973、 The Grasses of Burma、 Ceylon、 India and Pakistan、 Pergamon Press、 Oxford.

Carpine、 J. P. 1246. The Mongol Mission. Translated by C. Dawson (1955) to English and then by Mori M (1964) to Japanese、 Kofusha、 Tokyo.

Cho、 Y. G.、 M. W. Blair、 O. Panaud、 and S. R. McCouch. 1996. Cloning and mapping of variety- specific rice genomic DNA sequences; amplified fragment length polymorphisms (AFLP) from silver stained polyacrylamide gels. Genome 39:373-378.

Chun、 C.、 P. Jiangli、 Z. Qunying and C. Shu’e. 2004. Holocene pedogenic change and the emergence and decline of rain-fed cereal agriculture on Chinese Loess Plateau. Quaternary Science Reviews 23:2525-2535.

Church、 A. H. 1886. Food-grains of India. The Committee of Council on Education、 London.

Cohen、 D.J. 1998. The origins of domesticated cereals and the Preistocen-Holocene Transition in East Asia. *The Review of Archaeology* 19(2):22-29.
Crawford、 G.W. and M. Yoshizaki. 1987. Ainu ancestors and prehistoric Asian agriculture. *Journal of Archaeological Science* 14:201-213.
de Candole、 A. 1886. Origin of Cultivated Plants. Kegan Paul、 Trench & Co.、 London、 p376-378.
de Candolle、 A. 1883. (加茂儀一訳 1978)『栽培植物の起源』東京：岩波書店。
de Ceunynck、 R. 1991. A find of charred acorns in Evergem-Ralingen near Ghent (Belgian Iron Age). In J.M. Renfrew (ed.) *New Light on Early Farming*、 pp.289-294. Edinburg University Press.
de Wet、 J.M.J. 1989、 Origin、 evolution and systematics of minor cereals. In: A. Seetharum、 K.W. Riley and G. Harinarayana (ed.). Small Millets in Global Agriculture. pp.1930、 Oxford and BH Publishing CO. Pvt. Ltd.、 New Delhi.
de Wet、 J.M.J. and J.R. Harlan 1975、 Weeds and domesticates: evolution in the man-made habitat. Economic Botany 29:99107.
de Wet、 J.M.J. 1995. Minor cereals. In J. Smartt and N.W. Simmonds (eds.) Evolution of Crop Plants、 pp.202-207. Essex: Longman Scientific and Technical.
Filatenko、 A.A.、A. Diederichsen and K. Hammer. 1997. Vavilov's Theories of Crop Domestication in the Ancient Mediterranean Area. In A.B. Damania、 J. Valkoun、 G. Willcox and C.O. Qualset (eds) The Origins of Agriculture and Crop Domestication. pp.9-24. ICARDA、 IPGRI、 FAO and UC/GRCP.
Fuller、D. 2002. Fifty years of archaeobotanical studies in India: laying a solid foundation. In S. Setler and Ravi Korisettar (eds.) *Indian Archaeology in Retrospect*. Vol. III. Archaeology and Interactive Disciplines、 pp. 247-361. Indian Council of Historical Research、 Monohar.
Fuller、 D.Q. and M. Madella. 2001. Issues in Harappan Archaeology: Retrospect and Prospect. In: Settar S. Krisettar R. (eds.) Protohistory - Archaeology of the Harappan Civilization. Manohar、 New Delhi、 pp317-390.
Gerard、 J. 1597. The Herball or Generall Historie of Plantes. Norton、 London、 pp73-81.
Harlan、 J.R. 1992. Crops and Man. American Society of Agronomy and Crop Science Society of America. Madison、 Wisconsin.
Harlan、 J.R. 1995. *The Living Fields our Agricultural Heritage.* pp.153-154.
Harris、 D.R. 1989. An evolutionary continuum of people-plant interaction. In D.R. Harris and G.C. Hillman (eds) *Foraging and Farming— The evolution of plant exploitation.* pp.11-26. Unwin Hyman、 London.

Hilu、 K.W. 1993、 Polyploidy and the evolution of domesticated plants. American Journal of Botany 80:1494-1499.
Hopf、 M. 1982. Vor- und Fruhgeschichhtliche Kulturpflanzen aus dem Mordlichen Deutschland. Verlag des Romisch-Germanischen Zentralmuseums. Mainz. p.14-15 und Tafel 68.
星川清親 1983、新編食用作物、p.335、養賢堂、東京。
Hunt、 H.V. and M. K. Jonse. 2006. Pathway across Asia: exploring the history of *Pnicum* and *Setaria* in the Indian subcontinent. International Seminar on the "First Farmers in Global Perspective." Lacknow、 p.53-68.
Jonse、 M. 2004. Between Fertile Crescents: Minor Grain Crops and Agriculture Origins. Ed. M. Jonse. "Traces of ancestry: studies in hounour of Colin Renfrew." University of Cambridge、 Cambridge、 p127-135.
加藤晋平、1977、北方農耕覚書 3、縄文農耕・北野視点、どるめん 13.
加藤晋平、1988.「シベリアの先史農耕と日本への影響」、佐々木高明・松山利夫編『畑作文化の誕生』東京：日本放送出版協会。
Kawase、 M. and S. Sakamoto. 1982. Geographical distribution and genetic analysis of phenol color reaction in foxtail millet、 *Setaria italica* (L.) P. Beauv. Theor. Appl. Genet. 63: 117-119.
Kawase、 M. and S. Sakamoto. 1984、 Variation、 geographical distribution and genetic analysis of esterase isozymes in foxtail millet、 *Setaria italica* (L.) P. Beauv. Theor. Appl. Genet. 63:117-119.
河瀬真琴 1986、ユーラシアにおけるアワの遺伝的変異と文化―その地理的起原をめぐって、農耕の技術 9：111-135.
河瀬真琴、1991、「インド亜大陸の雑穀とその系譜」、阪本寧男編『インド亜大陸の雑穀農牧文化』、pp.33-98、東京：学会出版センター。
河合美佐子 2011、味を決めるアミノ酸、生物工学第 89 巻 679-682。
小池裕子 2003、7.DNA レベルの研究法、小池裕子・松井正文編著、保全遺伝学、東京大学出版会、東京。
Лысов、В. Н. 1968. *Просо*. Колос. Ленинград.
Lysov、 V.N. 1975、 Proso (*Panicum* L.). In: A.S. Krotov (ed.). *Flora of cultivated plants.* Vol. III Groat crops (buckwheat、 millet、 rice). pp.119-123、 Kolos、 Leningrad.
Marinval、 P. 1991. Recent developments in Palaeocarpology in Western and Southern France. In J.M. Renfrew (ed.) *New Light on Early Farming.* pp.247-254. Edinburgh University Press.
Maribval、 P. 1995. Donnees carpologiques francaises sur les Millets (*Panicum*

miliaceum L. et *Setaria italica* (L.) Beauv.) de la Protohistorie au Moyen Age. In E. Horandner (ed.) Millet*Hirze*Millet - Grazer Beitrage Zur Europaischen Ethnologie. Peter Lang、 Frankfurt.
松谷暁子、1984、「走査電顕像による炭化種実の識別」『古文化財に関する保存科学と人文科学、総括報告書』。
Meadow、 R.H. 1986. The Geographical and paleoenvironmental Setting of Tepe Yahya. eds. C. C. Lamberg-Karlovsky and T. W. Beale. “Excavation at Tepe Yahya、 Iran 1967-1975、 The Early Periods、” American School of Prehistoric Research Bulletin 38: 21-38. Harvard University Press、 Massachusetts.
Murray、 M. G. and W. F. Thompson. 1980. Rapid isolation of high molecular weight plant DNA. Nucleic Acids Research 8: 4321-4325.
Nabham、 G. and J. M. J. de Wet. 1984. *Panicum sonorum* in Sonoran Desert Agriculture. Economic Botany 38: 65-82.
中尾佐助.1967.「農業起源論」、森下正明・吉良竜夫編『自然:生態学的研究』.pp.329-494、東京：中央公論社。
Nei、 M.、 and S. Kumar. 2000. Molecular Evolution and Phylogenetics. Oxford University Press、 New York.
Nesbitt、 M. 2005. Grains. In G. Prance (ed.) The Cultural History of Plants. pp.45-60. Routledge、New York.
Nesbitt、 M. and G.D. Summers. 1988. Some recent discoveries of millet (*Panicum miliaceum* L. and *Setaria italica* (L.) P.Beauv.) at excavations in Turkey and Iran.
小原哲二郎 1981、雑穀－その科学と利用、樹村房、東京。
ルブルク／カルピニ、 1255 (護雅夫訳 1989)、『中央アジア・蒙古旅行記―遊牧民族の実情の記録』、東京：光風社出版
阪本寧男 1982、穀類における貯蔵澱粉のウルチーモチ性とその地理的分布、澱粉科学 29: 41-55。
阪本寧男　1986、『雑穀の来た道―ユーラシア民族植物誌から』、東京：日本放送出版協会。
Sakamoto、 S. 1987. Origin and dispersal of common millet and foxtail millet. JARQ 21: 84-89.
佐々木高明 1970、熱帯の焼畑―その文化地理学的比較研究、古今書院、東京。
佐々木高明 1972、日本の焼畑―その地域的比較研究、古今書院、東京。
Scholz、 H. and V. Mikoláš. 1991. The weedy representatives of proso millet (*Panicum miliaceum*、 Poaceae) in Central Europe. Thaiszia、 Kosice 1: 31-41.
陶山佳久 2001. 2-4.AFLP 分析、種生物学会編、森の分子生態学、pp.251-262、文一総合出版、東京。

平宏和 1986、日本のアワの脂肪酸組成型、食品総合研究所研究報告 49：60-65。
平宏和 1989、穀類の脂質含量と脂肪酸組成の変動要因、化学と生物 27（3）：168-175。
田中正武 1975、栽培植物の起原、日本放送出版協会、東京。
戸苅義次・菅六郎 1971、食用作物、pp.302-303、養賢堂、東京。
ТЛЕМИСОВ ХАЙДУЛЛА АБДААХМАНОВИЧ. 1990、НАЦИОНАЛЪНАЯ КУХНЯ КАЗАХОВ (The National Cooking of Kazkhs). КАЙНАР、АЛМА-АТА、КАЗАХСТАН.
van Driem、 G. 2002. Tibet-Burman phylogeny and prehistory: languages、 material culture and genes. In P. Bellwood and C. Renfrew (eds.) Examining the Farming/Language Dispersal Hypothesis. pp.233-249. McDonald Institute for Archaeological Research、 University of Cambridge.
Vavilov、 N. I. 1926. Studies on the Origin of Cultivated Plants. Inst. Bot. Appl. Amel. Plants. Breeding 16:1-245. Leningrad. (中村英司訳 1980) 『栽培植物発祥地の研究』東京：八坂書房。
Weber、 S. A. 1992. South Asian Archaeobotanical Variability. South Asian Archaeology 1989. Monographs in World Archaeology No. 14: 283-290. Madison、 Wisconsin.
Weber、 S. A. 1996. Distinguishing change in the subsistence and the material records: The interplay of environment and culture. Asian Perspectives 35(2):155-163.
Willcox、 G. 1989. Some differences between crops of Near Eastern origin and those from the tropics. *Monographs in World Archaeology*. No.14. South Asian Archaeology. p.291-300. Wisconsin.
Willcox、 G. 1991. Carbonised plant remains from Shortughai、Afghanistan. In J.M. Renfew (ed.) *New Light on Early Farming*. pp.139-153. Edingburgh University Press.
山田悟郎 1998、日本列島北端で展開された雑穀農耕の実態、平成 8・9 年度科学研究費補助金研究成果報告書、北海道開拓記念館。
吉崎昌一 1995、日本における栽培植物の出現、季刊考古学第 50 号：18-24.
Zohary、 D. and M. Hopf. 2000. Domestication of Plants in the Old World: The origin and spread of cultivated plants in West Asia、 Europe and the Nile Valley. Oxford University Press、 London.

補足　2021.8.27

イヌキビ *Panicum miliaceum* subsp. *ruderale* は標本からは明瞭でなかった。中央アジアの標本は少なく、野生とみられる標本は２点のみであった。中国と日本の標本も少なく、野生らしい標本は１点あった。シッキムの標本は穂は大きく、種子は小粒(3x2mm)、

褐色であった。インドの野生らしい標本は2点あった。ミヤンマーBurmaの栽培型は種子が小粒（3.5ｘ2.5mm）であった。サマイとその祖先種P.psilopodiumの同定も的確と判断した。