

## I. はじめに

人類進化モデル研究センターは、前身であるサル類保健飼育管理施設創立当初から自家繁殖体制の確立に勤め、それが軌道に乗って現在に至っている。従って、現在の繁殖母群を導入して以降、当研究所で利用されているサル達はこの研究所で生まれて育った個体である。本センターが標榜する「新世代ザル」を創出するためにも、現在飼育されている研究所生まれのニホンザルの成長の形態的な特徴を把握しておく必要がある。従来、ニホンザルの成長研究は、霊長類またはマカクの中で純粋な生物種としての特徴に基づく位置づけを明らかにすることに焦点を当てて行われてきた。一方、霊長類のみならず全ての生物種において身体成長に様々な環境要因が影響を与えていることは周知の事実であるが [5, 11]、ヒト以外の霊長類については、環境要因の身体成長に関わる影響について焦点を当てた研究はほとんど行われていない。そこで、本センターで飼育されているニホンザルにおける身体成長の特性を明らかにするために、飼育環境条件のなかでも最も差が見られる飼育空間の広さの違いに焦点を当て、生後1歳から7歳までの一次及び二次成長における放飼場飼育とケージ飼育という環境条件の異なるグループ間の成長の解析を行った。

## II. 材料と方法

屋外放飼場で誕生しそのままの環境で育ったグループ（放飼場飼育群）と屋内の個別ケージで誕生し、生後1年間母親と共に過ごし、母子分離後屋内のグループケージ飼育を経て個別ケージ飼育されたグループ及びそのまま屋外グループ飼育ケージで飼育されたグループの3グループについて、生体計測を行った。放飼場飼育群は、3群からなり全ての群がニホンザルの平均的な成長過程をとることが知られている [3, 4]。ニホンザルは季節繁殖動物であり、春に出産期を持つ [9, 10] ので、できるだけ年齢を誕生日に合わせるために春に生体計測を行った。生体計測を行った延べの個体数を各群、年齢、性別ごとに表1に示した。

飼料の質及び個体当たりの量は全ての飼育形式でほぼ同じである。詳細な飼育環境については、本記念誌の施設・設備の説明を参照にされたい。

生体計測法は、Martinの方法 [7] を基に、一部マカク測定用に改良されたもの [1, 6] を用いた。行った生体計測36項目とそれに対応するMartinの番号を表2に示した。

麻酔下で生体計測を行ったが、麻酔は、塩酸ケタミン（「動物用ケタラルール50」三共株式会社）を10mg/kg（体重）筋肉内に注射した。

計測値は、1歳ごとに1歳から7歳までの7ポイントのデータを用いた。放飼場飼育群のデータは横断的データとして集め、ケージ飼育群のデータは7歳までのデータを縦断的に集め、それを年齢ごとにまとめて用いた。ケージ飼育群は個別ケージ飼育群とグループケージ飼育群とに分けられるが、先ずこの2群について二元分散分析を行い平均値について統計的な有意差が認められなかったため、この2群を1群として扱い、ケージ飼育群と放飼場飼育群とについて

性別、年齢別に分け、平均値と分散を算出した。それらの値を用いて、グループ間の各年齢における差異の有無をダンカンの多重比較検定法を用いて調べた。

### Ⅲ. 結 果

放飼場飼育群とケージ飼育群の平均値間に統計的に有意差 ( $p \leq 0.05$ ) が見られたものを表2に示した。オスで20項目、メスで28項目において、放飼場飼育群の方がケージ飼育群よりも大きかった。これに対して、オスで5項目、メスでは1項目でケージ飼育群のほうが放飼場飼育群より大きかった。

体の各部分ごとに示すと以下のようになった。

#### 脳 頭 蓋

オスでは最大頭長及び全頭高を除く全ての項目で、放飼場飼育群とケージ飼育群が同じ成長を示した。最大頭長及び全頭高では、4歳から7歳までケージ飼育群が放飼場飼育群よりも有意に小さかった。メスでは、ほとんどの項目において、3歳から7歳までケージ飼育群の方が放飼場飼育群よりも有意に小さかった。最大頭長と最大頭幅では1歳時においてもケージ飼育群のほうが放飼場飼育群よりも有意に小さかった。

#### 顔面頭蓋

オスでは形態学顔高と下顎角幅を除き、ケージ飼育群と放飼場飼育群間に差は認められなかった。形態学顔高 (図1) は、4歳時点でケージ飼育群の方が放飼場飼育群よりも有意に小さかった。一方下顎角幅は、5及び6歳時点でケージ飼育群の方

年齢	個体数					
	ケージ生まれ <sup>a)</sup>				放飼場生まれ <sup>b)</sup>	
	個別ケージ飼育		屋外グループケージ飼育		放飼場飼育	
	オス	メス	オス	メス	オス	メス
1	7	7			9	10
2	3	3	3	3	7	10
3	3	3	3	3	5	7
4	3	3	3	3	4	7
5	3	3	3	3	2	7
6	3	3	3	3	4	4
7	3	2	3	2	3	6
計	25	24	18	17	34	51

表1 生体計測を行った個体数  
 a) 各年齢ごとに同一個体14頭について調査した。半数を1歳以降屋外グループケージに移した。何頭かの個体は事故死したため、2歳以降頭数が減少している。  
 b) 全て異なる個体について調査した。

生体計測項目	年齢													
	オス							メス						
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
頭部														
最大頭長 (1)				*				*			*	**	*	*
最大頭幅 (3)								*		*	**	*	**	*
最大頬骨幅 (6)								*		*	**	**	*	*
全頭高 (15)							*			*	**	**	*	**
顔面部														
顔高 (18)				**						*	**	*	**	**
上顔高 (20)								*		*	**	**	**	**
下顎角幅 (8)					*	**				*	**	**	**	**
体幹部														
座高 (23)						*								*
尾長 (28(5))														*
前頭長 (27(1a))					*									*
肩峰間幅 (35)														*
胸部横径 (36)	*	*						*		*	*	*	*	*
胸部矢状径 (37)	*	**	*	**				*		*	*	*	*	*
腸骨間幅 (40)					**	**				*	*	*	*	**
大転子間幅 (42)					*	*				*	*	*	*	**
四肢部														
上腕長 (47)						*	**							*
前腕長 (48)										*	*	*	**	**
手長 (49)	*	*		*	*	**		*	*	*	*	**	**	**
手幅 (52)	*	*			**	*		*	**	**	**	**	**	**
第一指長 (51a)										*	*	**	**	**
第三指長 (51)					*					*	*	**	**	**
大腿長 (55(1))										*	*	*	*	*
下腿長 (56a)										*	*	*	*	*
足長 (58)		*			*	**		*	*	*	**	*	*	*
足幅	*	*		*	*	**		*	*	*	**	*	**	**
第一趾長						*		*	*	*	**	**	**	**
第三趾長					*	*				*	*	*	*	*
周囲径														
胸囲 (61)	**	**	*	**				**	**	*	**	**	**	*
腹囲 (62(1))	*	**						*	*	*	*	*	*	*
上腕最大囲 (65)						*				*	*	*	*	*
前腕最大囲 (66)	**	*	*	**	*	**	*	*	**	*	**	**	**	**
前腕最小囲 (67)	**	**	**	**	**	**	*	**	**	*	**	**	**	**
大腿最大囲 (68)			*	*				*	*	**	*	**	*	*
下腿最大囲 (69)	**	**	*	*		**	**	**	*	*	**	**	*	*
下腿最小囲 (70)	**	**	**	**	*	**	**	**	**	*	**	**	**	**
体重 (71)						*				**	**	**	**	**

表2 放飼場およびケージ飼育ニホンザル間の生体計測値における差異  
 生体計測項目はMartin and Saller (1957) に依り、各項目に付した番号は  
 Martin and Sallerの番号に対応している。  
 足幅、第一趾長及び第三趾長は、Hamada (1982) と Iiyama (1971) に依った

が同じであったが、形態学顔高（図1）及び上顔高では3歳以降、ケージ飼育群の方が放飼場飼育群よりも有意に小さかった。

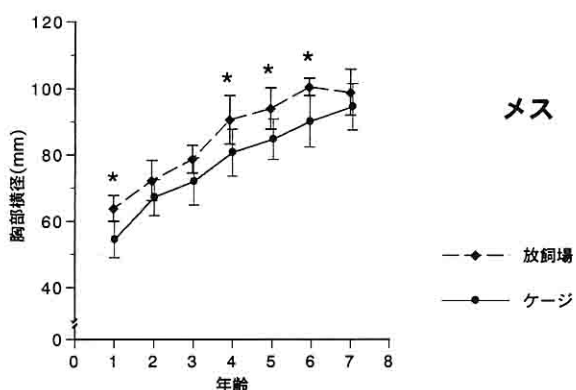
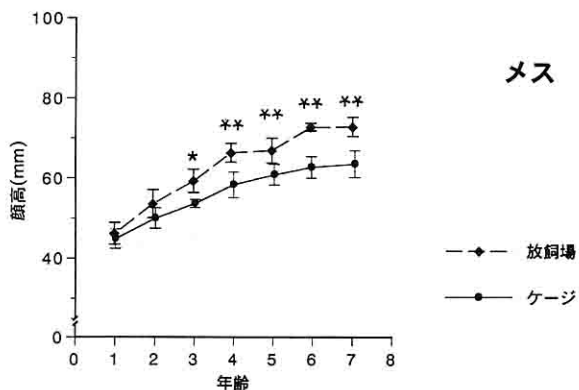
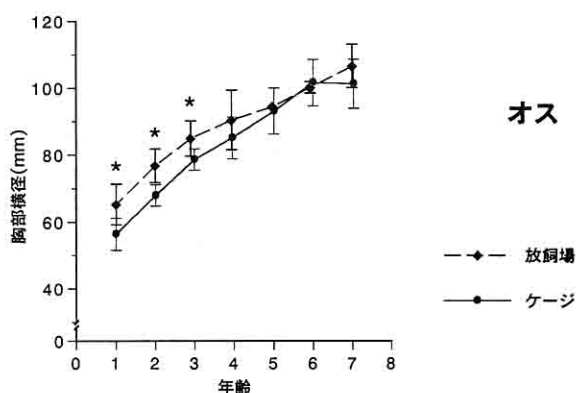
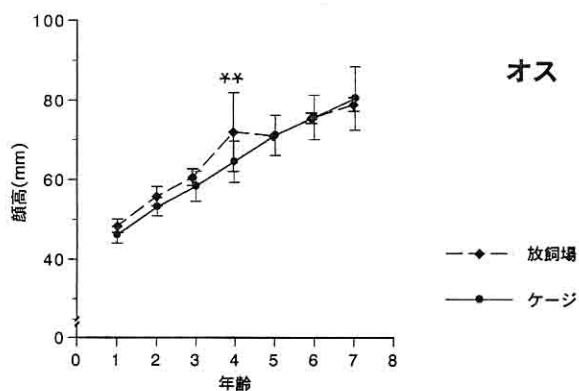


図1 飼育下のニホンザルにおける形態学的顔高の成長変化  
垂直線は標準偏差を表す。\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$

図2 飼育下のニホンザルにおける胸部横径の成長変化  
垂直線は標準偏差を表す。\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$

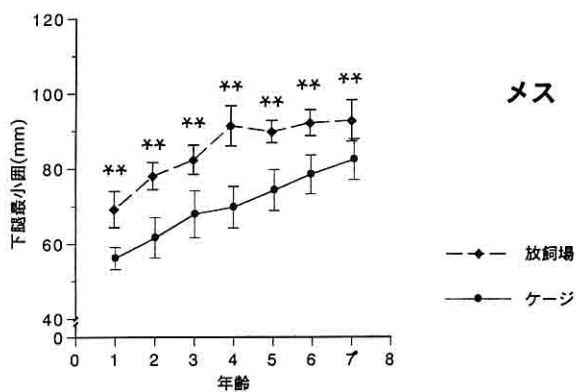
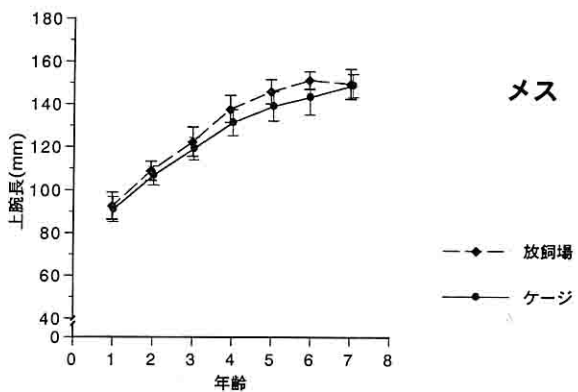
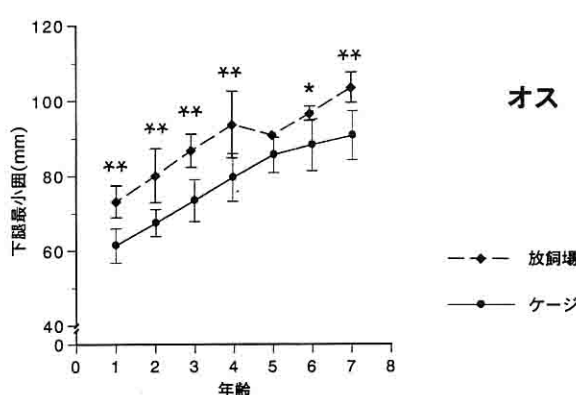
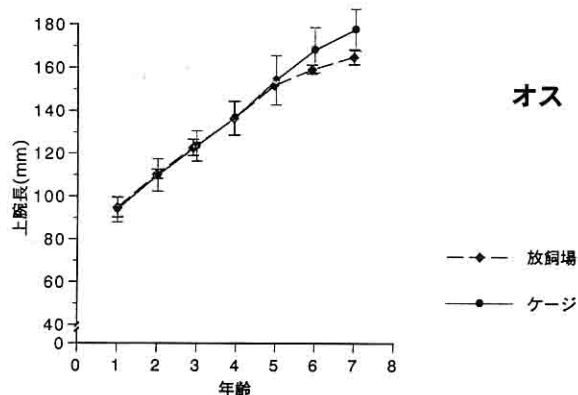


図3 飼育下のニホンザルにおける上腕長の成長変化  
垂直線は標準偏差を表す。

図4 飼育下のニホンザルにおける下腿最小囲の成長変化  
垂直線は標準偏差を表す。\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$

## 体幹部

オスでは、8項目のうち4項目、即ち座高、尾長、前胴長及び肩峰幅では、1歳以降、両群共に同じであったが、6歳時の座高及び5歳時の前胴長ではケージ飼育群の方が放飼場飼育群よりも有意に大きかった。胸部横径(図2)及び矢状径は、一次成長においてケージ飼育群の方が放飼場飼育群よりも有意に小さかった。これに対して、骨盤幅及び大転子間幅では、二次成長においてケージ飼育群の方が有意に大きかった。メスでは、4項目で両群の差が認められた。その中の座高、胸部横径(図2)及び矢状径では、一次、二次成長においてケージ飼育群の方が有意に小さかった。一方骨盤幅では、7歳時にケージ飼育群の方が放飼場飼育群よりも有意に大きかった。

## 四肢部

オスでは、12項目のうち7項目、即ち手長、手幅、中指長、足長、足幅、母趾長及び中趾長において、ケージ飼育群の方が放飼場飼育群よりも有意に小さかった。特に、手長及び手幅、足長及び足幅ではこの傾向が著しかった。上腕長(図3)のみでケージ飼育群の方が放飼場飼育群よりも有意に大きかった。メスでは、上腕長及び母趾長を除き少なくとも一次又は二次成長のいずれかでケージ飼育群のほう放飼場飼育群よりも有意に小さかった。この傾向は、オスと同様に手及び足の長さと同様で顕著だった。

## 周囲径

周囲径は身体各部の計測項目の中で年齢変化に伴う差異が最も多く認められた。メスのほうがオスよりも差異が多く認められた。雌雄ともに各項目の平均値はケージ飼育群のほう放飼場飼育群よりも有意に小さかった。特に前腕最大及び最小囲と下腿最大及び最小囲(図4)では、雌雄ともに1歳から7歳までの全てのポイントでケージ飼育群の方が小さかった。メスでは、胸囲も全ての年齢でケージ飼育群の方が放飼場飼育群よりも有意に小さかった。

## 体重

オスでは7歳時に、メスでは4歳から6歳時までケージ飼育群の方が放飼場飼育群よりも有意に小さかった(図5)。

## IV. 考察

### ケージ飼育群と放飼場飼育群の成長差異

身体各部の成長という観点から、ケージ飼育群と放飼場飼育群の身体各部の生体計測値を比較すると、多くの部位でケージ飼育群のほう放飼場飼育群よりも有意に小さいことが明らかとなった。ニホンザルや他のマカク、ヒトなどの多くの霊長類の成長は、一次成長と二次成長から成る2相性を示すことが知られており [2, 13, 14]、これはここで明らかになった成長差異

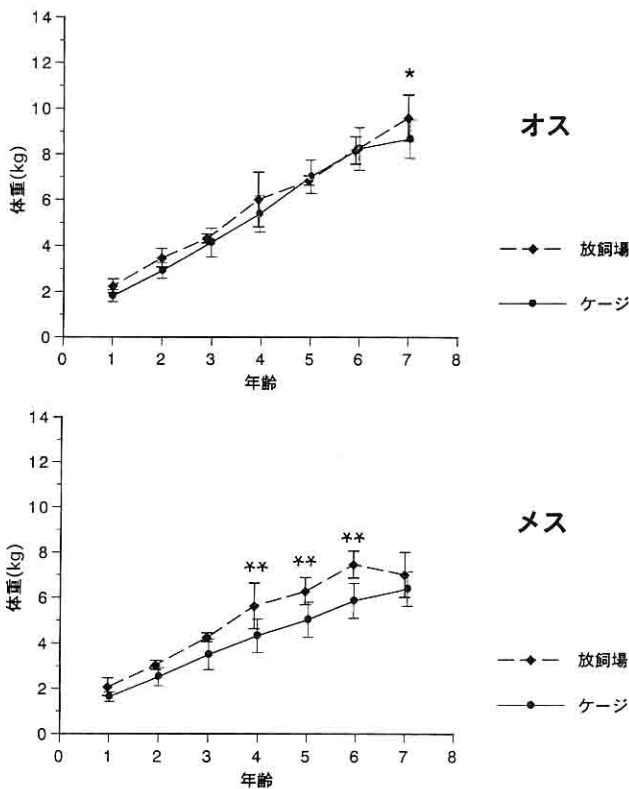


図5 飼育下のニホンザルにおける体重の成長変化  
垂直線は標準偏差を表す。\*:  $p < 0.05$ , \*\*:  $p < 0.01$

のパターンが生じる原因を考える上で参考となる。オスでの頭部、顔面部及び体幹部の幾つかの項目とメスでの体幹部の幾つかの項目では両群の成長の傾向が類似して差が認められず、これはケージ飼育群及び放飼場飼育群ともに一次成長及び二次成長において本来の成長を示しているからだと考えられる(図3)。メスにおいて多くの頭部や顔面部や雌雄の幾つかの周囲径では、一次又は二次成長のどちらかで両群間に有意差が見られ、この差異は、ケージ飼育群において一次及び二次成長のいずれかがそれぞれの本来の成長とは異なっていることによるものと考えられる(図1、2)。また幾つかの四肢部及び周囲径は、ケージ飼育群において一次及び二次成長ともに本来の成長と異なるために差異が生じたと考えられる(図4)。

これらケージ飼育群と放飼場飼育群との成長における差異は育成環境の差異により生じたものであると考えられる。もちろん幾つかの例外もあったが、ケージ飼育群の生体計測値は、一次及び二次成長において放飼場飼育群のそれに等しいかまたは小さく、ケージ飼育がその動物本来の成長を阻害している可能性を示唆している。多くの周囲径や胸部横径及び矢状径では、ケージ飼育により雌雄又はオスの一次成長が抑制される。これは、即ち、胸部矢状径、大腿最大囲及び下腿最大囲のような一次成長期に中間又は大きい増大を示す身体部位[1, 2]には、飼育環境の広さがそれらの一次成長に影響を及ぼすことを示している。

ある身体部位ではケージ飼育群の方が放飼場飼育群よりも一次及び二次成長において成長が劣っていた。この傾向が見られたのは、雌雄の手長及び手幅、足長及び足幅、最大前腕囲及び最小下腿囲で、これに加えて、オスでは最小前腕囲及び最大下腿囲、メスでは最大頭長及び胸囲でも同様であった。これらの身体部位の成長ではケージ飼育によって一次成長に影響が現れ、そのままケージ飼育を続けることによって二次成長期の代償性成長が不完全になったと考えられる。

ほとんどの生体計測値の平均値はケージ飼育群の方が放飼場飼育群よりも小さかったが、オスの下顎角幅、座高、前胴長、大転子間幅及び上腕長、雌雄の骨盤幅では逆に大きかった。オスでは下顎角幅、骨盤幅、大転子間幅、座高及び前胴長の成長差異は二次成長期に現れその後消失した。この結果は、これらの5項目ではケージ飼育群の成長が二次成長期により加速されていたことを示唆している。しかしながら、ケージ飼育群になぜこのような成長加速が起こったのかまた上腕長及び骨盤幅がなぜケージ飼育群の方が大きいかについては、不明である。

### 成長差異の出現における性差

成長差異の出現における性差が最も顕著だったのは、頭部、顔面部及び体幹部の項目だった。オスでは両群間に差がほとんど見られないのに対してメスでは顕著であった。マカクにおける性的二型は著しく[8]、特に体格と頭部及び顔面部の成長においてかなり大きい[12]。頭部及び顔面部の成長に影響を与える重要な要素の1つに、咀嚼器官、即ち乳歯及び永久歯の萌出や咀嚼のための筋肉の発達が挙げられる。咀嚼器官は外敵と戦うために必須であるという理由で、メスよりもオスにとってより重要であると考えられる。このような咀嚼器官の成長発達に対する強い選択圧が、放飼場飼育群のみならずケージ飼育群におけるオスの頭部及び顔面部の安定した本来の成長を可能としていると考えられる。また、オスでは体幹部の幾つかの項目でケージ飼育群に二次成長期の著しい成長加速が見られたが、メスでは全くそのような傾向は認められなかった。

### 飼育環境における空間の大きさが身体成長を変化させる可能性

今回の研究によって、飼育する広さや高さが身体成長に影響を与えることを明らかにするこ

とができた。雌雄ともに一次成長期において、高い増加率を示す項目はこの種の飼育環境の差により敏感であることがわかった。これらの多くの項目では二次成長期に成長の遅延が回復された。しかしながら、遠位の運動器官、例えば手（手長、手幅）や手首（前腕最小囲）、足（足長、足幅）や足首（下腿最小囲）の大きさは、飼育場所の広さの影響を強く受け、更に、これらの運動器官の変化は不可逆的である。また今回の研究によってメスのほうがオスよりもこの種の飼育環境の差異に鋭敏であることが明らかとなった。広くかつ垂直方向にも十分運動できる飼育環境を整えることがこの種の固有の成長を保証するためには必要であることが示唆された。

これから本センターが「新世代ザル」を創出する上で、本研究が示した環境の差異による身体成長の変化は、重要な意味を2つ持つ。1つは、本来その種が持つ成長を前提とする実験研究を行う場合には、身体の中のどの部位が飼育環境の影響を受けやすいのか、またどの部位が受けにくいのかを考慮し、必要によってはその十分な成長を保証する環境を整える必要があることを示した点である。もう1つは人為的にその環境を操作することによってこの種の成長を制御できる可能性を示した点である。飼育環境のみならず、成長に関わるホルモンの分泌調節機構を詳細に解明することによって、ニホンザルの成長を制御し、様々な実験に適した「新世代ザル」の作出を目指したい。

尚、本稿の詳細はJournal of Veterinary Medical Science; 63(4): 361-366, 2001を参照されたい。

## 文 献

1. Hamada Y (1982) Longitudinal somatometrical study on the growth patterns of newborn Japanese monkeys. *Primates* 23(4): 542-557.
2. Hamada Y (1994) Standard growth patterns and variations in growth patterns of the Japanese monkeys (*Macaca fuscata*) based on an analysis by the spline function method. *Anthropol Sci.* 102(Suppl.): 57-76.
3. Hamada Y, Hayakawa S, Suzuki J, Ohkura S (1999) Adolescent growth and development in Japanese macaques (*Macaca fuscata*): Punctuated adolescent growth spurt by season. *Primates* 40(3): 439-452.
4. Hamada Y, Watanabe T, Iwamoto M 1996: Morphological variations among local populations of Japanese macaque (*Macaca fuscata*). In: Shotake T, Wada K, eds. *Variations in The Asian Macaques*. Tokyo: Tokai University Press, 97-115.
5. Ino T, Goto N, Hoshino T, Sato H (1987) 動物の成長と発育, 1st Ed : 朝倉書店.
6. Iwamoto M (1971) Morphological studies of *Macaca fuscata* (VI): Somatometry. *Primates* 12: 151-174.
7. Martin R, Saller K (1957) *Lehrbuch der Anthropologie*, 3rd Ed, vol. 1, Stuttgart: Gustav Fischer Verlag.
8. Napier JR, Napier PH (1967): *A handbook of living primates*. London: Academic Press.
9. Nozaki M (1993) Reproductive characteristics of Japanese monkeys. *J. Reprod. Develop.* 39(6): 93-107.
10. Nozaki M (1994) Mechanisms controlling the seasonal breeding of Japanese

monkeys. J. Reprod. Develop. 40(6): 105-115.

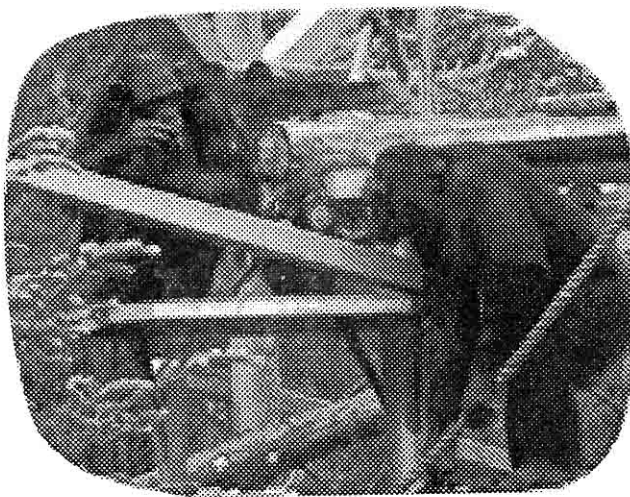
11. Sinclair D (1985) Human Growth after Birth, 4th Ed, Oxford: Oxford University Press.

12. Sirianni JE (1985) Nonhuman primates as models for human craniofacial growth. In: Watts ES, ed. Nonhuman Primate Models for Human Growth and Development, vol 6. New York: Alan R. Liss, Inc.; 95-124.

13. Tanner JM (1962) Growth at Adolescence, Second Ed, Oxford: Blackwell Scientific Publications.

14. Watts ES (1985) Adolescent growth and development of monkeys, apes and humans. In: Watts ES, ed. Nonhuman Primate Models for Human Growth and Development, vol 6. New York: Alan R. Liss, Inc.; 41-65.

(すずき じゅり、 京都大学霊長類研究所人類進化モデル研究センター)



孫のパールに優しく接するプチ、左は母親パン