

ヤチネズミの高地適応特性

酒井秋男

信州大学・医学部・加齢適応研究センター・スポーツ医学

Physiological characteristics of *Clethrionomys* as high-altitude adapted animals

Akio SAKAI

Department of Sports Medicine, Shinshu University School of Medicine

Key Words: *Clethrionomys*, High altitude, Adaptation, Right ventricular hypertrophy

ヤチネズミ、高地、適応、右心室肥大

はじめに

動物が高地環境に長期間滞在した場合、高地環境の外的要因である低酸素と低温の影響によって、血液・循環器系に適応的变化がみられる。すなわち、赤血球数の増加にともなうヘマトクリット（血球容積比）の上昇による血液粘度の増加と低酸素性肺血管収縮（HPV）の2要因によって肺動脈圧は上昇する。また、この肺動脈圧の上昇は同時に右心室の負荷を増大させ、右心室肥大が誘発される。このように高地環境に棲息する動物においてはその適応として肺高血圧や右心室肥大がみられるのが一般である。しかし、これらの反応の大きさは個体差や種間差が著しく、同じ海拔高度でも肺高血圧や右心室肥大の程度に著しい差がみられる。

チベット高地にはナキウサギ、チベットヒツジ、ヤク（毛牛）などが棲息しており、これらの動物は世界の哺乳動物の中で最も高所（海拔 6,100m）まで棲息しており、またそ

の生存の歴史が長い（チベット高地から 3,700 万年前のものと推定されるナキウサギの化石が発見されている）ことから、これら 3 種の動物は遺伝的にも確立された「完全高地適応動物」と考えられる。実際に、これらの動物の高地適応特性を検討したところ、一般に高地環境でみられる肺高血圧や右心室肥大が抑制されて、著しく減弱していることが明らかとなった。その原因には海拔高度の上昇にともなうヘマトクリットの増加が少なく、また HPV 反応が小さいことが関係している。

ナキウサギは体重が 150 g 前後の小型な動物で、実験動物として開発することは高地医学をはじめ呼吸器疾患の病態解明に貢献するところが大きい。しかし、チベット高地には多く生息しているものの、日本への輸入は非常に困難である。ところが日本の中部山岳地帯には高山のみに棲息するヤチネズミがいる。このヤチネズミが高山帯のみに棲息するようになった背景には地史的背景が大きく関係し

ており、前述のナキウサギに匹敵する高山での生活の歴史が長く、高地適応モデル動物としての実験動物化の可能性が高い。

そこで、今回はヤチネズミと日本固有種であるヒメネズミについて、心臓の大きさを中心に高地適応の面から比較検討した。

材料および方法

ヤチネズミの標本は海拔 0m から 2160m の範囲に棲息する成体（平均体重 20.8 g）、を標高別に 8 ヲ所、合計 24 個体を用いた。ヒメネズミの標本は海拔 400m から 2500m の範囲に棲息する成体（平均体重 14.9 g）を標高別に 12 ヲ所、合計 93 個体を用いた。捕獲場所は主として中部山岳地帯であるが、ヤチネズミは低地に棲息していなためヤチネズミの低海拔の個体は北海道で捕獲したものである（北海道ではヤチネズミが低地から高山まで生息している）。捕獲にはパチンコワナを用い、捕獲時期は 11 月から 1 月の冬季の個体である。各標高で捕獲された個体は体重を測定した後、心臓を摘出した。心臓は眼科用の小さなハサミを用いて、Fulton 方式にしたがって、心室を左心室（中隔を含む）と右心室とに分離した。分離した各心室は乾燥器で乾燥した（80℃、24 時間）後、それぞれの重量を測定した。主な測定項目は体重（BW,g）、右心室重量（RVW,mg）、左心室重量（LVW,mg）全心室重量（TVW,mg）で、海拔高度にともなう心臓の比較には心臓の大きさ（TVW/BW）および右心室の大きさ（RVW/LVW）で行った。

結果

図 1 はヤチネズミと日本固有種であるヒメネズミを標高別に捕獲して心臓の大きさ（上図）と右心室の大きさ（下図）を比較したものである。

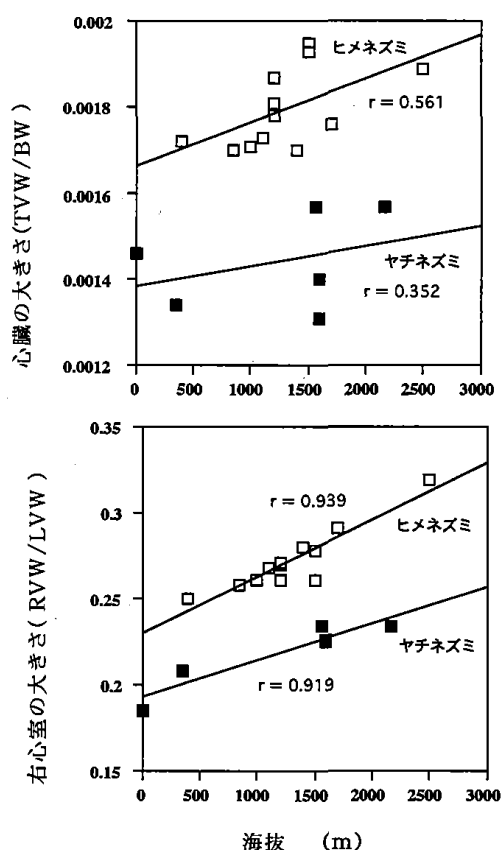


図1 ヤチネズミとヒメネズミの心臓の大きさの海拔高度にともなう変化

BW：体重、TVW：全心室重量、RVW：右心室重量、LVW：左心室重量、 r ：相関係数

両種とも海拔高度の上昇にともなって心臓の大きさも右心室の大きさも増大するが、その増大の度合い（直線の傾斜）はヤチネズミの方が小さく、また絶対値も何れの海拔高度において小さい。このヤチネズミの結果は完全高地適応動物と考えられるナキウサギの傾向と一致する。

この図からも明らかなように、両種とも海拔高度の上昇にともなって、心臓の大きさも右心室の大きさも大きくなっているが、ヤチネズミの心臓は海拔高度の上昇にともなう心肥大および右心室肥大の程度（回帰直線の傾斜）がヒメネズミより著しく小さく、また、絶対値も何れの海拔高度においても小さい。

考察

この結果は、世界の哺乳動物のなかで最も高地に生息する（海拔 6,100m）ナキウサギの高地適応特性とまったく同じ傾向である。ナキウサギは高所での生存の歴史も長く、完全高地適応動物と考えられている。

ヤチネズミは、中部山岳地帯では亜高山森林帯からハイ松のある高山帯にかけて生息する高山特有種である。このような特異な分布には日本列島成立の地史的背景と動物種の対立関係が大きく関係している。すなわち、ユーラシア大陸北東部要素と考えられるヤチネズミとハタネズミはかつての氷河期に日本列島が大陸と陸続きであった頃、東部シベリア-サハリン-北海道-本州と広く分布していた。その後、温暖化（間氷期）によって北海道と本州は海で隔離された。同じ草食性で地中生活という生態的地位をもつ両種の間では対立関係が生じ、生存のためには一方の種が駆逐されるかすみ分けるかのどちらかである。この場合、北海道では寒さに強いヤチネズミがハタネズミを駆逐し絶滅させた結果、ヤチネズミが低地の草原から高山帯まで分布した。ところが、本州ではヤチネズミとハタネズミの競合によって、勢力の強いハタネズミが低

地の草原を占め、寒さに強いヤチネズミが高山帯にすみ分けたものと考えられている。いずれにしても、本州のヤチネズミは上述のように高山での生存の歴史も長く、また、高地適応特性もナキウサギと同じことから、ナキウサギに匹敵する完全高地適応モデル動物云える。

一般に動物が高地環境に長期間暴露されると、低酸素性肺血管収縮反応(HPV)と赤血球数の増加にともなうヘマトクリットの上昇によって肺動脈圧は上昇し、右心室肥大が誘発される。

同じ高地環境に暴露されても、肺動脈圧の上昇の程度や右心室肥大の程度は動物の種類によって著しく異なり、また、同一種内でも個体差が著しい。Reeves ら(1979)は慢性的高地暴露による肺動脈圧上昇の種間差を報告している。それによると、ウシ、ウマ、ブタなどは高地暴露によって著しい肺高血圧を示すのに対して、ラマ、イヌ、ヒツジ、ウサギなどはその反応が極めて微弱であることを報告している。また、ウシには高地暴露に対して肺動脈圧の上昇が著しい感受性型と反応の鈍い不感受性型の 2 型があることが知られている。この感受性型の出現には遺伝的素因の大きいことが示唆されており、この型のウシは *brisket disease* と呼ばれる、極度の肺高血圧によって右心不全を誘発し、死亡する。同様な違いは人間にも見られ、同じ高地に滞在しても著しい肺高血圧を示す者がいて、急性高山病の重症例である高地肺水腫に罹りやすい。以上のことを考え合わせると、高地環境下で見られる肺高血圧や右心室肥大の程度は小さ

いほど高地環境に対して適応的と云える。事実、完全高地適応動物のナキウサギはラットと比較して、ヘマトクリットが有意に低く、肺動脈圧も右心室肥大の程度も極めて小さく、酸素消費量も少ないことが特長である。また、HPV もラットと比較して有意に小さい。また、チベットヒツジもブタと比較して、ヘマトクリットおよび肺動脈圧は有意に低く、右心室肥大の程度、HPV 反応および酸素消費量も有意に小さかった。酸素の希薄な高地環境に生活するためにはより少ない酸素消費量で生理的恒常性を維持することが必要で、そのような機構を備えていることが高地適応の大きな特長の一つと云える。

以上のように、哺乳動物の中で、世界の最高地点まで分布するチベットヒツジ、ナキウサギ、ヤクは高地での長い生存の間に、適応できなかった個体は淘汰され、現存のものは遺伝的にも確立された高地への完全適応の形態をとっているものと思われる。中部山岳地帯の高山帯に生息するヤチネズミもナキウサギと同じ理由によって遺伝的にも確立された完全高地適応動物と考えられ、その実験動物化が期待される。

参考文献

- 1)Reeves JT, Wagner WW, McMurtry IF, and Grover RF Physiological effects of high altitude on the pulmonary circulation. In: International Review of Physiology: Environmental Physiology III, Vol.20, ed. Robertshaw D, University Press, Baltimore, 1979; pp289-310.
- 2) 酒井秋男 (1971) : 高山に生息するヒメネズミ (*Apodemus argenteus*) の右心室肥大 動物学雑誌 80 (3) : 80-86
- 3) 酒井秋男 (1974) : 血液ヘマトクリット値と右心室重量 1 ヒメネズミ (*Apodemus argenteus*) の血液ヘマトクリット値と右心室重量の季節ならびに緯度に伴う変化 日本生理学雑誌 36 (1) : 8-16
- 4) 酒井秋男 (1976) : ヒメネズミ *Apodemus argenteus* 心室重量の季節に伴う変化 哺乳動物学雑誌 6 (5) : 224-230
- 5) 酒井秋男 (1976) : ヒメネズミ (*Apodemus argenteus*) 心室重量における季節変動 動物学雑誌 85 (2) : 118-125
- 6) 酒井秋男 (1977) : 高所環境下にみられる右心室肥大の解明 : ヘマトクリットと右心室肥大の関係 (その I) 日本生理学雑誌 39 (11) : 431-441
- 7) 酒井秋男 (1977) : 高所環境下にみられる右心室肥大の解明 : ヘマトクリットと右心室肥大の関係 (その II) 日本生理学雑誌 39 (12) : 479-489
- 8) 酒井秋男、上田五雨、小林俊夫 (1988) : 動物の高地への順応 日本胸部臨床 47 : 647-654

- 9) Sakai A. Ueda G. Yanagidaira Y. Takeoka M. Tang G. and Zhang Y. (1988): Physiological characteristics of pika, *Ochotona*, as high-altitude adapted animals. In high-altitude medical science. Edited by G Ueda S. Kusama and N.F. Voelkel, Shinshu Univ., Matsumoto pp99-107
- 10) 酒井秋男、松本孝朗、斉藤宗雄、松崎哲也、小泉知展、石崎武志、阮 宗海、王 占剛、陳 秋紅、王 曉勤 (2002) : チベットヒツジの高地順応特性 環境科学年報 24 : 87-98