化石　93，37–49，2013
*Fossils*
*The Palaeontological Society of Japan*

# 第三紀ハンマー：歴史と再生

辻野　匠*・柳沢幸夫*・徳橋秀一*
*産業技術総合研究所地質調査総合センター

# Tertiary hammer: history and prospect

Taqumi Tuzino*, Yukio Yanagisawa* and Shuichi Tokuhashi
*Geological Survey of Japan, AIST, 305-8567, Tsukuba, Japan (taphonomy@ni.aist.go.jp)

## はじめに

それが存在している時にはなんでもないことだが，一旦なくなってしまうと再現することが難しいものが世の中にはある．たとえば銅鐸である．銅鐸は弥生時代の青銅器で，祭器と考えられている．その製作原理自体は単純で，銅と適当な金属（錫を主体とする）を混合して青銅のメルト（熔融物）を作り，それを砂で作った型にいれて冷やして鋳造したものである．しかし，実際に作ってみようとすると今の技術をもってしても再現することは難しいという（特に薄さ．久野・森, 1987; 久野, 1997）．もちろん精密工作機器を用いて青銅の塊から銅鐸の形に削り出すことは可能だが，それは銅鐸ではない．

同様になくなってしまうと再現がむつかしいものに地質調査技術がある．ところが，野外科学（川喜田, 1973）の常で地質調査技術もノウハウの積み重ねからなり，実体験によってしか伝えられない部分が多い（たとえば横山, 2007; 徳橋, 2011など）．したがって資料記録を残すことがむつかしい．しかし，地質調査技術も絶滅の危機にあり，いくばくか残せるものは残しておく必要がある．というのは，古生物学は必ずしも野外科学のみに留まるものではないが，地質調査は化石試料を採取し，その層序学的・古地理学的価値を評価する上でもっとも基礎となる技術であり，これの衰退は古生物学の足許を脅かすからである．

ここでは，調査道具のうち，あまり取り上げられることのなかった第三紀の地層用の山鍬（やまぐわ）（山地で使用されるバチツル型のツルハシで，多くは職人による鍛造品．詳しくは後述）について過去の逸品を振り返り，現在入手可能な代換え品を紹介し，その改良方法を提示する．また，この山鍬（第三紀ハンマーと呼称される）の動作原理について簡単かつ大雑把な力学的考察を行う．

第三紀ハンマーは軟岩用の特殊な調査用品で，岩石から新鮮な破断面をつくったり，試料を採取するのに使用する．第四紀の地層は強度が小さく，土に近いので農具がすぐに転用できる（たとえば，ネジリ鎌や三角ホー）．一方の中・古生界の強く固結した堆積岩類（古期岩類）や火成岩はその強度ゆえ，調査では地質調査用具の主流である岩石ハンマーが使用される．ところが，第三紀の地層（正確には第三系という）はその多くが軟岩で，続成作用の途中にある半固結岩のため，岩石ハンマーでは軟らかすぎ，逆にネジリ鎌では硬すぎる．「帯に短かし，襷に長し」の状態であり，専用の工具「第三紀ハンマー」が必要な所以である．第三紀ハンマーで有名なものに「魚沼ハンマー」と「房総ハンマー」がある．それぞれ，山鍬が主に対象とした模式地，すなわち，新潟県魚沼丘陵および千葉県房総半島を名にし負っている．また，化石ハンマーとも呼称されるが，この名称はどういう化石かが曖昧なためここでは使用しない．たとえば，第三紀ハンマーは第三系の大型化石なら通用するが，白亜系のノジュールに含まれるアンモナイトでは歯が立たないためである．

野外地質学の衰頽が危惧される（横山, 2007など）中で第三紀の分野も例外ではない．一例をあげると1985年に地質学雑誌に掲載された論文（短報を除く）46報のうち，第三系（鮮新～更新統を含む）のオリジナルな地質図を含む論文は9報あったが，四半世紀（ほぼ1世代）後の2010年になると43報のうちわずか2報を載せるに過ぎない．このような第三紀を中心とした野外地質学の衰頽の中で「第三紀ハンマー」は忘れられようとしている．一般の地質調査の本をみても，岩石ハンマーは掲載されているが，「第三紀ハンマー」（本稿のいう山鍬）は記述が乏しい．たとえば坂（1993）の「地質調査と地質図」は地質調査と地質図学を教える良書だが，ハンマーだけしか記述していないし，天野・秋山（2004）の「フィールドジオロジー入門」（共立出版）は野外地質調査技法を伝える良書だが，「第三紀ハンマー」に対応しそうなものはp.8と9に「小つるはし」とあるだけである．

なにも知らないでいると，第四紀の地層で使うネジリ鎌か古期岩類で使う岩石ハンマーで調査することになるが，どちらを使っても第三紀の地層の調査では効率は悪い．本稿で述べた情報が今後の第三紀調査へ貢献することになれば幸いである．

なお，ここでは第三紀という呼称を用いているが，現在では第三紀という呼称は国際的には公式な単元ではない．現在，第三紀に対応する正式な時代単元は古第三紀

と新第三紀であるが，ここでは従来の言い方に従って第三紀という呼称を用いる．ここでいう第三紀とは新生代から第四紀を除いたものである．第四紀の基底をどう定義するかについては考え方が変遷してきている．これまではCalabrian期下限（約1.81 Ma）が基底であったが，2009年の国際地質科学連合ではGelasian期下限（約2.58 Ma）が提唱されている（ICS, 2009; Finley, 2010）．その基底をまたいだからといって，調査道具がただちに使えなくなるというわけではないので，ここでは大雑把に，第三紀ハンマーの対象を半固結〜固結した岩石（強固結岩を除く）とする．そういう岩石は第三系に多いというだけであって，第三紀ハンマーはもちろん，固結度の高い第四系にも固結度の弱い白亜系にも対応できる．

さて，第三紀ハンマーとはいうものの，ハンマーのような鎚の部分はなく，実際はツルハシである．ツルハシというと狭義では両方がツル（ピック）になっているものを指すが，第三紀ハンマーは片方がバチ（撥）になったバチツルである．バチツルには，土木・鉄道工事用の両手持ちの大型のものもあるが，このようなバチツルは（大型や有孔虫）化石採取を除いて第三系の地質調査で使われることはあまりない．両手でないと保持できないため調査には不便なためと推測される．地質調査ではハンマーのように片手用が使われる．片手持ちのバチツルは商品としては十字鍬と呼称されるようであるが，商品化されている十字鍬は第三紀ハンマーとしては使いにくいものが多いという問題がある．中には，工場ベースではなく，個人商店（工房）的な鍛冶屋（野鍛冶という）の手になるハンドメイドのバチツルがあり，山鍬と呼ばれることがある．これは山仕事（山路の整備や植林地での栽樹など）に使われることによる．これらは土木用のものよりは軽量であるが，それでも大型で，しかも両手用のため第三紀の地質調査ではあまり使われることがない．第三紀ハンマーで有名なもの（魚沼・房総ハンマー）は片手用であるが，山鍬と同様に野鍛冶の手になるハンドメイド品であり，この系譜に属する．ここでは第三紀ハンマー（その候補者を含め）も山鍬と呼称する．

## 山鍬のいろいろ

第三紀ハンマーとして固有名をもっているのは「魚沼ハンマー」と「房総ハンマー」である（表1, 図1〜3）．それ以外に，園芸用十字鍬が転用される．転用が困難なものに土木用ツルハシと両手用山鍬がある．

### 魚沼ハンマー

現在「魚沼ハンマー」と呼ばれているものは，新潟県の魚沼団体研究グループのメンバーによって1970年ころ考案され，魚沼団体研究グループ及びその後継研究グループによって，現在まで長年にわたって製作・使用されてきた地質調査用の山鍬である．モデルとなったのは，新潟県の魚沼丘陵地域で，防空壕や野菜保存用の洞窟を掘削するために，穴掘り業者や井戸掘り業者が使用してい

表1．第三紀ハンマー，園芸用十字鍬，両手用山鍬及び土木用バチヅルの形態．A魚沼ハンマー前期型については試料頭部の摩耗が著しいため，写真資料などをもとに寸法・重量を推定した．*がついた試料は実見しておらず，メーカー・販売者等の表示する値である．(n) とあるのは*n*個の試料の平均である．記号のTは徳橋，Yは柳沢，Zは辻野を指す．

| 記号 | 通称 | 頭重量(g) | 柄重量(g) | 総重量(g) | 頭長(mm) | 撥幅(mm) | 柄長(mm) | 製造法 | 使い手 | 備考 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | 魚沼ハンマー前期型 | 480 | 270 | 750 | 280 | 50 | 580 | 鍛造 | YZ | 摩耗著しく頭部は推定．実測は頭長245mm. 頭重458g |
| B | 魚沼ハンマー後期型(3) | 548 | 366 | 914 | 317 | 53 | 583 | 鍛造 | TY | |
| C | 房総ハンマー小型 | 447 | 274 | 721 | 237 | 50 | 609 | 鍛造 | T | |
| D | 房総ハンマー中型 | 377 | 361 | 738 | 273 | 58 | 612 | 鍛造 | TYZ | |
| E | 房総ハンマー大型 | 419 | 217 | 636 | 278 | 58 | 588 | 鍛造 | T | |
| F | ホームピック小型/柄換装 | 474 | 181 | 655 | 288 | 57 | 604 | 鍛造 | Z | Iの頭部を利用 |
| G | ピックマトック中型/柄換装 | 418 | 296 | 714 | 280 | 50 | 540 | ダクタイル鋳鉄 | Z | Kの頭部を利用 |
| | 園芸用十字鍬 | | | | | | | | | |
| I | ホームピック小型 | 474 | 247 | 721 | 288 | 57 | 450 | 鍛造 | Z | 浅香工業製 金象シリーズ |
| J | ホームピック大型* | 900 | 500 | 1400 | 360 | 60 | 650 \| 900 | 鍛造 | | 浅香工業製 金象シリーズ（柄に長短あり） |
| K | ピックマトック中型(2) | 410 | 177 | 587 | 274 | 50 | 390 | ダクタイル鋳鉄 | YZ | キンボシ製，浅香工業製，ドウカン製，千吉など同笵品が多い．大型(頭長330mm, 頭部重量750g)・小型(230mm, 250g)モデルも存在す． |
| L | ホームピッケル | 454 | 234 | 688 | 280 | 50 | 385 | ダクタイル鋳鉄 | YZ | 大進製 金葉シリーズ |
| M | 大つる次郎 | 357 | 122 | 479 | 275 | 55 | 360 | 鍛造 | Z | 外川産業製 |
| N | つる次郎 | 250 | 122 | 372 | 222 | 40 | 360 | 鍛造 | Z | 外川産業製 |
| | 両手用山鍬 | | | | | | | | | |
| P | 土佐信廣・小型 | 670 | 478 | 1148 | 306 | 65 | 915 | 鍛造 | Z | 森脇刃物 |
| Q | 土佐花見 300mm | 629 | 608 | 1237 | 298 | 51 | 904 | 鍛造 | Z | 花見機械 |
| | 土木用バチツル | | | | | | | | | |
| S | 外川バチヅル08 | 837 | 439 | 1276 | 383 | 63 | 903 | 鍛造 | Z | 外川産業製 |
| T | トンボバチヅル08 | 826 | 439 | 1265 | 380 | 62 | 900 | 鍛造 | Z | トンボ工業製 |
| U | 千吉・小十字鍬 | 1124 | 289 | 1413 | 389 | 62 | 543 | 鍛造 | Z | 千吉製(頭はトンボ工業) |
| V | バチヅル10* | 1000 | 670 | 1670 | 400 | 60 | 900 | 鍛造 | Z | 外川産業製 |

たツルハシで，上越市高田の鍛冶屋で製作したのが始まりであるという．当初は関西製の大型のつるはしの頭を縮めて製作したそうで，試行錯誤を経てほぼ現在見られる形と寸法へと進化してきた．その後，このハンマーの利点が広く知られるようになり，各地の研究グループや研究者に多量に供給されて野尻湖の発掘など日本各地の新第三系や第四系の調査に活用されてきた．この間，1987年に製造元が替わり，それ以降は主に長岡市の鍛冶屋で製作され，現在に至っている．なお，一時的には三条市や松之山町で製作されたこともあったという．この山鍬については長森（2007）による紹介記事がある．

1987年を境として，それ以前の前期型とそれ以後の後期型では若干の違いがあり（表1, 図1～3），前期型（表1, 図1～3のA）には「∧外」（字並びは上下）の銘が撥の裏に切ってあるものがあり，職人の意識が明確に認められる．一方，後期型（表1, 図1～3のB）には銘が切られていない．また，鍛造というよりは，鍛接品（鍛造が叩いて整形するのに対して鍛接は部品を別に作成しておいてそれを高温高圧条件で接合する）である．また，後期型は頭が若干重く（表1），素振りでも容易に重さの違いを感じる．

サイズとしては，前期型が頭の長さが280 mm（推定，詳細は表1）と300 mmを割るのに対して，後期型では頭の長さが317 mmに達し300 mmを超えている．頭部の大型化に伴って，重量も480 g（推定）から548 gへと増している（柄を含めた重量は914 g）．一方で，撥幅はどちらもほぼ50 mmのため，形態は相似的ではなく，後期型のほうが伸長している（図2）．なお，柄はどちらも約60 cm（2尺）であるが，孔の大きさが異なるため，互換性はない．柄は前期型ではラワン材が主に用いられていたが，強度がやや劣るため，現在製作されている後期型は樫が使用されている．

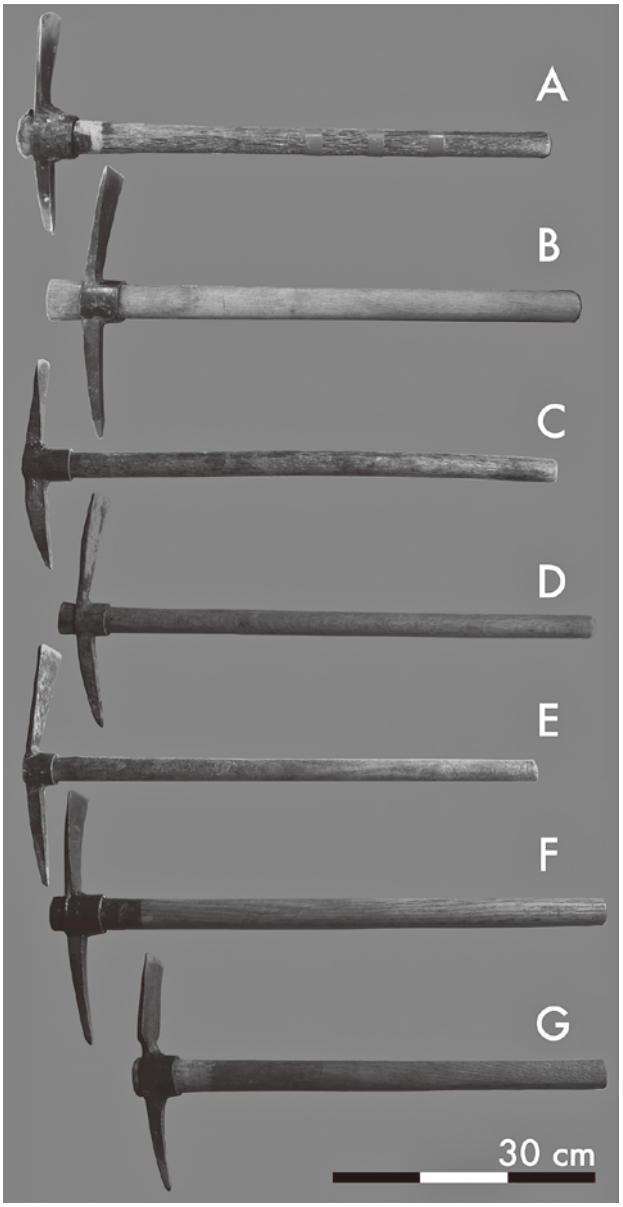


図1．魚沼ハンマー（A, B），房総ハンマー（C, D, E）及び柄を換装して第三紀ハンマーに改造した園芸用十字鍬（F, G,次ページ）．

**房総ハンマー**

「房総ハンマー」は千葉県の房総半島に広く分布する新第三系や第四系の堆積岩類を調査するために，考案・使用されてきた山鍬の総称である．「房総ハンマー」に関しては，その歴史的経緯の調査が不十分であるので，現段階では全容は不明であるが，実際に「房総ハンマー」を使用した一部の研究者（平山次郎氏・小玉喜三郎氏）の話によれば，地質調査所（現：産業技術総合研究所地質調査総合センター）の石油課では，1960年代から，多様なサイズのハンマーを試作し，房総や新潟での油田調査に使用したということである．そのうち，地質調査用具の販売店で扱っているピッケルをモデルとして，1970年代前半に独自に千葉県久留里の鍛冶屋に依頼して製作したとのことである．一方，別のグループでも別個に同じような山鍬を製作していたとのことであるので，「房総ハンマー」と呼称するものは，魚沼ハンマーのように1人の設計者が明確に寸法を意識して製作したものではなく，複数のグループがそれぞれの用途に応じて独自に設計・製作したものの総称である可能性も考えられる．

「房総ハンマー」は，知られている限りで3種類ある（表1, 図1～3）．ここでは大きさから，小型，中型及び大型と大別する．他に「房総ハンマー」と呼称するものは筆者の知る限りなく，それぞれの寸法は統一されていない（表1）．

サイズとしては，頭の長さが237 mmという小さいものがある（小型）が，他の二つは273 mm（中型）と278 mm（大型）でかなり似ている．同笵品（元型が同じ作品）といってよいが，重量はそれぞれ377 g及び419 gと1割ほど異なっている．柄には互換性がなく，同笵品

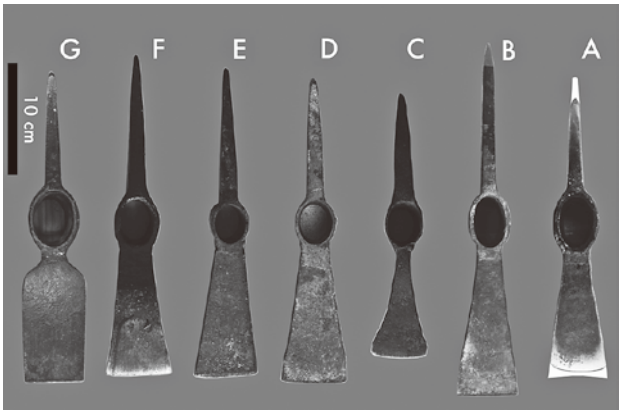


図2．魚沼ハンマー（A, B），房総ハンマー（C, D, E）及び柄を換装して第三紀ハンマーに改造した園芸用十字鍬（F, G）の頂面の写真．Aの白部分は摩耗分．

図3．魚沼ハンマー（A, B），房総ハンマー（C, D, E）及び柄を換装して第三紀ハンマーに改造した園芸用十字鍬（F, G）の側面の写真．Aの白部分は摩耗分．

としてはバラツキが大きいので区分した．頂面形態（図2）・側面形態（図3）をみても，小型は別として，中型と大型は非常に似ており，ほぼ同一の設計思想によって製作されたと考えれる．また，小型は長さこそ小さいが重量は447 gあり，中型よりも重い．第三紀のハンマーとして，長さを小さくしてもいいが，重さを軽くすることは不適当なことを暗示しているかもしれない．ただし，これには人間工学的な検討が必要である．ここでも魚沼ハンマー前期型と同じく，頭の長さはどれも300 mmを超えないし，柄は2尺（60 cm）である．

**そのほかの市販品その1：園芸用十字鍬**

ホームセンターの園芸用品売場には図4のような園芸用十字鍬が売られている．個々の特徴は次に述べるが，第三紀ハンマーとして，園芸用十字鍬は柄が短かいという欠点がある（表1）．これは後述する柄の換装によって対処できる．

1．ダクタイル鋳鉄

それぞれのホームセンターによって売られている商品は異なっているが，数・廉価度ともに高いものは，ダクタイル鋳鉄（ちゅうてつ）という改良型の鋳鉄でできた園芸用十字鍬である（表1及び図4のKとL）．鋳鉄つまり鋳物（いもの）といえば硬いがすぐ欠けるので，山鍬のように強靭さ（特にねばり）が必要な工具には不適当である．しかし，ダクタイル鋳鉄はductile（延性のある）というように強靭さをクリアしており，当然，山鍬にも使用可能である．鋳物だからと敬遠する地質学者もある一方で，鋳物かどうかも気にとめずに使っている地質学者もある．後者は鋳物だと知った途端，敬遠してしまいがちであり，ダクタイル鋳鉄は不当に避けられている印象がある．ダクタイル鋳鉄はだたの鋳物ではない．あまり知られていないようなので，ここで若干の紙面をとって解説する．

そもそも鋳鉄の硬さは高い炭素含有量に起因しており，同時に脆さにもつながっている．脆さは次のような原因で生じる．鋳鉄の熔融物（鍛冶では「湯」と呼ぶ）が固化する際，鉄に入り切れない炭素が微小なベイン状に晶出する．金属学ではこれを介在物（かいざいぶつ）という（岩石学では包有物というが，どちらもinclusionに対応する）．この時，個々のinclusionは独立しているが全体として線状に排列するように晶出し，そこが力学的弱線になり破断しやすくなるのである．一方，ダクタイル鋳鉄は炭素が大きな塊にならないように，微小な球状組織になるように改良されており，鋼に近い強靭さをもつ．以上，冗長に述べたが，鍬の頭部が鋳鉄でできていたとしても，最近のダクタイル鋳鉄製であれば強度的には問題ない．

そのダクタイル鋳鉄製の園芸用十字鍬はほとんど同じ形態をしたものが，各社から製造されている（表1, 図4K, L）．これらのもとになったのは米軍のM1910 Pickmattockと呼ばれるもので，簡便な塹壕掘りや野営時の側溝掘りなどに使用される．第三紀ハンマーを使う側からすると

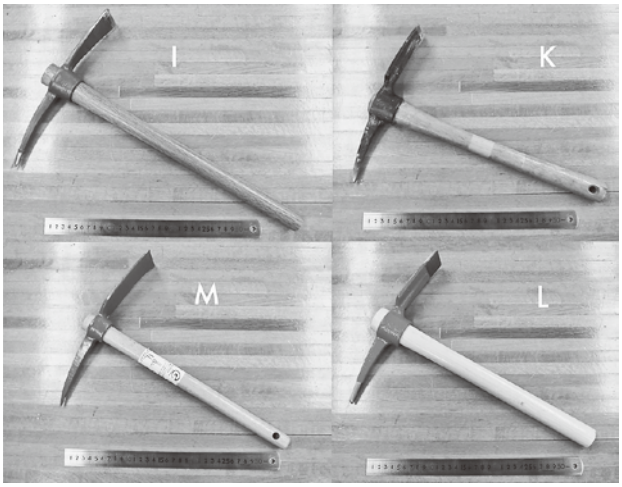


図4．市販されている園芸用十字鍬．スケールは30 cm定規．

柄が短かい（40 cm程度）のが理解しがたいが，後述するように，腕の長さの撃力への寄与は大きいので，アメリカ人の体格のよさ（特に腕の長さ）からすると，柄は短かくてもいいのかもしれない．また，旧日本陸軍の十字鍬は米軍のものより若干柄が長い（50 cm程度）が，この長さの差は体格の差によるものかもしれない．もちろん，米軍のものは兵卒の携行しやすさを優先して設計されている可能性もある．ただ，米軍モデル及びその模造品と考えられる園芸用十字鍬を第三紀調査に導入するにあたっては柄の長さが適当か検討する必要はある．筆者らの使用感は柄が短かくパワーが出ない，というものであった．

ダクタイル鋳鉄による十字鍬の頭の重量は410～450 g程度であり，頭の長さも270～280 mm程度で，それぞれ，上に述べた魚沼・房総ハンマーと似た値である．ただ，柄だけは380～390 mm程度とかなり短かくなっている．

2．鍛造品

ダクタイル鋳鉄製に比べると数は少ないが鍛造品（たんぞうひん）も存在する（表1のI, J, M, N．I, Mは図4に写真がある）．これらは鍛造品であるため，粘りがあり，破断の心配が少ない．ただ，長いものでも柄は450 mm（表1及び図4のI）と魚沼・房総ハンマーに比べると短かい．これは比較的よく販売されており，あと10 cm長ければ第三紀ハンマーとして申し分ないのにと少し残念である．

また，鍛造品はダクタイル鋳鉄製のものより，形態的にバリエーションが大きく，個々の農工具メーカーが独自に製作・販売しているものと考えられる．これは，米軍をモデルにしたダクタイル鋳鉄製のものと大きく異なる点であり，探し方によっては，自分にぴったりした形態のものが手に入る可能性がある．ただ，筆者らの知る範囲においては，表1のNのような若干小型のものが目についた．

**そのほかの市販品その2：両手用山鍬**

両手用の山鍬は鍛造品からなっており，ナタやハサミなどを作成する工芸的鍛冶屋などで作られているものである（表1及び図5のP, Q）．工芸品的位置付けのためか，塗装はしていないことが多く，焼き鈍（やなま）しの鋲紺色（てっこん）（gun blue）をしている．柄の長さは多くの場合において90 cm（3尺）となっており，頭部の重量は600 g以上（表1には小型のみを提示している）と，魚沼・房総ハンマーに比べるとかなり大型である．一方で，頭の長さは30 cm程度であり，魚沼・房総ハンマーと比べるとほぼ同じである．つまり，重さのわりに長くない，ずんぐりとした形態をしている．これは，図5のP，Qが土木用（後述）のS，Uに比べると長さは短かく，撥の幅は狭く，ずんぐりしていることからもわかる．このずんぐりとした形態が，

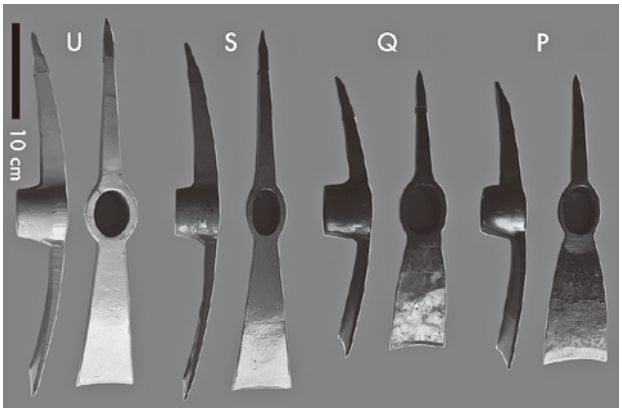


図5．両手用山鍬（P, Q）及び土木用バチツル（S, U）の頂面および側面写真．

山での取り回しに好都合なのかもしれないが，それをいうためには厳密な検討が必要である．

この種の山鍬は職人による手仕事により製造されており，量産品に比べるとよい鋼を使っていると考えられる．また，コンパクトな頭部の形態は山地や林間での使用に向くと考えられるが，第三紀ハンマーとして使用する際に障壁となるのが柄の長さである．ここで，柄を90 cmから60 cmに切断することによって魚沼・房総ハンマーのようにならないかという改良案が考えられる．筆者らは試みていないが，問題になるとすれば柄を60 cmに詰めたとしても総重量が1 kgに達するので，若干，片手での取り回しが困難になると予想される．しかし，個々人の体格・体力により，これがベストだというケースもあるだろう．

**そのほかの市販品その3：土木用ツルハシ**

土木用ツルハシは，名前のとおり土木工事等で使用されるもので，赤や黄色のペイントがしてあることが多い．重量は頭が最低で0.8 kg（表1及び図5のS, T．ただしTはSとほぼ同型品なので写真として図5で図示しなかった）だが，よく見かけるのは1.5 kg以上であり，重いものになると3 kgのものまである．1.5 kg以上の重量のものは，第三紀の調査においては化石鉱床の調査など露頭にじっくり取り組むような調査で威力を発揮する．しかし，地質図作成のための踏査など魚沼・房総ハンマーが対象としている調査においては，持ち運びでも打撃でも疲労するのに，露頭では必要以上に破壊力があって使いづらいものと考えられる．0.8 kg級や1 kg級のものであっても，上で述べた両手用山鍬と同じ理由から，片手使用は困難だと思われる．また，上の両手用山鍬と違って頭部が全体的に細長く，使い勝手がいいのかどうかも危惧される．

柄はほとんど全て90 cm（3尺）であるが，表1及び図5のUについては約60 cm（2尺）のものがある（同じ頭

で3尺のものも販売されている）．これは魚沼・房総ハンマーと同じ長さであって，第三紀ハンマーには適当と思われるが，残念ながら頭の重量が約1.1 kgもあり，柄も含めた総重量が1.4 kgを超える．第三紀の軟体動物化石（貝化石）の研究者では愛用している人もあるが，その重量から片手での使用は困難ではないかと思われる．表1のJも販売上は園芸用十字鍬に区分されるが，頭の重量や柄の長さを考慮するとUとほぼおなじ位置付けになるだろう．

なお，農業用の鍬（桐島・現代農業編集部, 2011など），剣術（高野, 1982）・銃剣術（高橋, 1993）での使い方にあるように，こういった両手用の工具は片腕（鍬と剣は左手，銃剣は右手）で主に支持し，もう片方は添えるだけなので，基本的には片手用とバランスは大きく変らないと推測できる．このことは両手用山鍬も何らかの方法で減量してやれば，片手用の山鍬として使うことができることを示す．減量の方法としては，通常使用により摩耗したものや，回転砥石等で削剥あるいは切断することなどが考えられるが筆者らは試みていない．これは丁度，前述した黎明期の「魚沼ハンマー」の製作過程をなぞることになる．

**市販品の改良：柄の換装**

市販品のうち，ホームピック小型（表1及び図4のI）とピックマトック中型（表1及び図4のK, これとほぼ同じものにホームピッケルLがある）は，ホームセンターなどでもっとも手に入りやすいものの一つである．巡検等でしばしばこれらの十字鍬を参加者が持参しているのを目にする．これらは表1のとおり，頭重量は魚沼・房総ハンマーと比較して妥当であるが，柄の長さが圧倒的に短かいという欠点がある．これは挺子（てこ）となる柄が短かいため，魚沼・房総ハンマーと同じ角速度で打撃を加えてもそれほど速度が乗らないという問題がある．角速度は肩と肘と手首の筋肉によって生み出される回転力にほとんど依存しており（図6），柄が短かい分だけ角速度を速くする，ということは身体的にできない．主観的な意見としては第三紀ハンマーとして「バランスが悪い」設計である．また，筆者の1人辻野は，ピックマトックを使用していて3回柄を折ってしまった．このようなことから，これらの柄は，――おそらく本来の園芸用の使い方すなわち土壌を少し起耕するといった用途であれば適当と思われるが――地質調査としての使い方をする場合には改良の余地がある．具体的には柄の換装である．

ホームピックについては，ホームセンター等で市販されている，より大型の農工具の柄で換装することを試みた．市販されている土木工事用のバチヅルの（頭重量）1 kgの柄に，寸法的にホームピックにそのまま嵌合するものがあったので端的に交換した．これは幸運な例で，筆者らの印象では，ホームセンターで販売している柄は

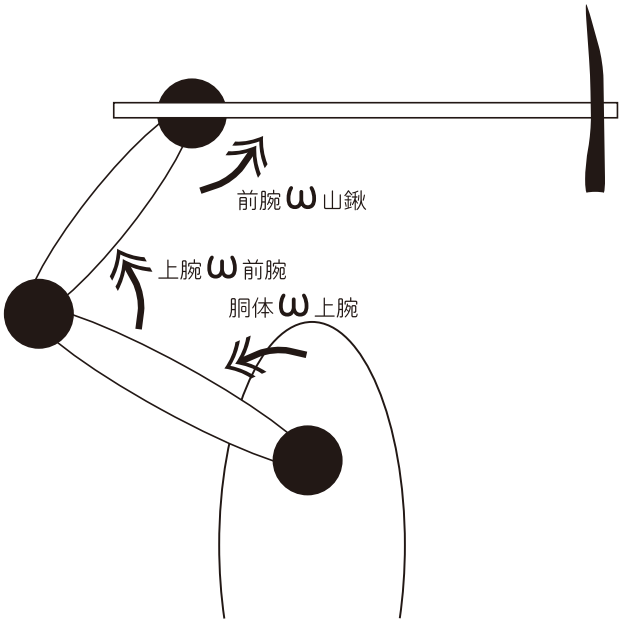


図6．山鍬を振う時の腕（上腕，前腕，手首）の運動の模式図．

1 kgものは少なく，多くは1.5 kg以上用からであり，また1 kgものがあったとしても，それがホームピックにそのままブレなく嵌合するとは限らない．寸法がぴったりくるものがなかった場合は，後述のピックマトックの場合のような調整が必要となる．

ピックマトックについては，残念ながらホームセンター等で，より大型の農工具等でそのまま換装し得るものがなかった．原因は頭部の柄を指す空洞の内径が大きいためである（これは前述のように，もととなった米軍の装備品のデザインに起因すると思われる）．具体的には上側の長径43 mmの短径33 mmで下側は長径38 mmの短径28 mmである．これを満たすために，頭部2.5 kgのツルハシ用の樫製の柄を素材として選らんだ．加工は，(1) 柄を切断する，(2) 柄を削剥し痩せさせる，(3) 頭部がしっかり嵌合するように調整する，の三段階を経た．(1) の切断は，今回55 cmで切断したが，好みにより60 cmなどで切断すればよい．(2) の削剥は，主にナタと木工用ヤスリで行なった．ナタで大きく削っておき，ヤスリで細かく確認しながら研磨していく．ここまでで要した時間は辻野の場合は3時間である．もっとも面倒なのが (3) 調整である．実際に岩石を打撃してみると衝撃によりグラつきが生じる．そのため，ヤスリで微妙なところを現場調整する必要があった．なお，調整していくうち削りすぎてしまって柄が抜けてしまう，という事態があり得るので，(2) の削剥では，柄の先端で頭部が固定されるのではなく，やや手前（心配な場合は3 cm程度か）で固定するような心持ちで研磨するのがよい．もし，柄が痩せすぎてしまった場合（柄の経年使用で痩せた場合も含む）は柄に漆・樹脂系の接着剤と布を互層状に巻きつけ

ることで太らせることができる．

## 山鍬の力学的検討

山鍬によって岩石の一部を剥離させる作業は，一般的にはモノがなにかに衝突して破壊が起きることと同じである（図7）．これは岩石が応力を受けて破壊する地震と同じ原理が成り立っている．すなわち，割れるであろう面の剪断強度を越える力がかかった時に岩石は破壊する．ここで重要になってくるのが岩石の粘着力である．Coulomb-Navierの破壊条件（基準）によれば，破壊した時の剪断応力$\tau$は

$$\tau = \tau_0 + \mu\sigma$$

となる．ただし，$\tau_0$は粘着力，$\mu$は摩擦係数，$\sigma$は垂直応力である．破壊が起きてしまう時の$\tau$を剪断強度という．式のとおり，剪断強度は岩石が置かれた応力状態に依存する．地圧が高い深部では$\sigma$が大きく，結果として剪断強度が増している．地震は地下深部で起きるために地震断層の剪断強度は垂直応力に強く依存する．ところが，露頭は表層にあるから地圧はほとんど無視できる．そのため剪断強度は粘着力と一致する．これは岩石の剪断強度を簡便に定数として扱ってよいということを示す．

### 山鍬が岩石を切る時の強さ

最初に山鍬によって岩石を切る際に発生し得る力を試算する．これは山鍬側に起きる現象と，岩石側に起きる現象とに大別できる．前者の試算は，山鍬を振うことによって発生する力を理論的に求めることである．山鍬の実際の運動は図6が示すように，それぞれの部位の回転運動の合成であり，実務的にはぞれぞれの関節での回転のタイミングを調整することによって，岩石に打突する直前で最速になるようにできるのであるが，単純化すれば，ある単一の角速度で回転する挺子の先にある物体が別の物体に衝突することに近似できる．物体の衝突では運動量の変化が事象を理解するのに重要な物理量である．

ここで，質量$m$，速度$v$の物体H（ここではハンマー頭部）が，別の物体R（ここでは岩盤）に衝突して，まったく静止したとする．そしてRは低速で動き出したが，ほどなく静止したとする．衝突以前にHがもっていた運動量は$mv$であり，衝突時の力積は運動量$mv$に等しい．力積は岩石が受ける「ダメージ」と考えてよいが，岩石が破断するかしないかは力積ではなく，受けとった力の最大値で決まる．この，衝突時に発生する力を撃力$F$といい，力積を運動量の伝達時間$t$で除したものである．式で書けば次のようになる．

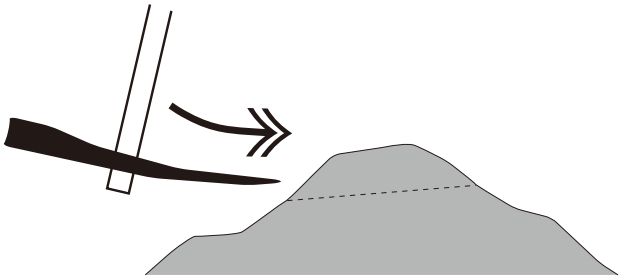

図7．山鍬で岩石を剥離する時の模式図．点線は破断することになる面．

$$F = \frac{mv}{t}$$

物体Hの質量は実際に測定すればよい．ここで扱っている山鍬の場合，だいたい頭の質量はm＝0.5 kg程度である（表1）．次に速度であるが，基本は，$v = r\omega$である．ここで$r$は挺子の長さで腕と柄の合計である．$\omega$は角速度である．角速度・速度にはいくつかの見積り方がある．スピードガンなどによる測定もあるが，最近ではデジタルカメラの連続撮影などを使うことにより個々人が簡便に測定することができる．

例をあげる．筆者の一人辻野（身長188 cm，腕の長さ65 cm）が柄60 cmの山鍬をもって，ある程度の力み方（渾身ではなく，露頭で毎回，この強さで叩くことになっても可能だが，かなり疲れる強さ；ここでは「つよめ」と表現し，物理学的には表2のような特徴をもつ強さである．「よわめ」も同じ）で打ち込む時の角速度$\omega$は連続写真判読の結果，平均的には26.1 rad/sであった（表2）．挺子の長さ$L$は単純には腕の長さに柄の長さを加算すれ

表2．60 cmの柄（第三紀ハンマー）及び40 cmの柄（園芸用十字鍬）を用いて，かるめ乃至つよめに打撃した時の，角速度，速度，運動量（重量0.5 kgと仮定），撃力（持続時間を1 ms箱型と仮定），剪断強度1.5 MN/m$^2$の岩石を剥離する面積，剪断強度2.5 MN/m$^2$の岩石を剥離する面積，100 cm$^2$の面積を剥離することができる岩石の剪断強度．

| 柄長[cm] | 気持ち力加減(速度) | 角速度[rad/s] | 速度[m/s] | 運動量[kgm/s] | 推定撃力[kN]($t$=1 msの時) | 1.5 MN/m$^2$の岩石を剥離する面積[cm$^2$] | 2.5 MN/m$^2$の岩石を剥離する面積[cm$^2$] | 50 cm$^2$の面積を剥離できる岩石の強度[MN/m$^2$] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 60 | つよめ(はやめ) | 26.1 | 30.0 | 15.0 | 15.0 | 100.1 | 60.0 | 3.0 |
| 60 | かるめ(おそめ) | 12.2 | 14.0 | 7.0 | 7.0 | 46.8 | 28.1 | 1.4 |
| 40 | つよめ(はやめ) | 25.3 | 24.0 | 12.0 | 12.0 | 80.1 | 48.1 | 2.4 |
| 40 | かるめ(おそめ) | 11.6 | 11.0 | 5.5 | 5.5 | 36.7 | 22.0 | 1.1 |

ばよいが，打撃点において腕と柄が一直線にはなっておらず，若干の角度があった（開き角112度程度）．写真から長さ$L$は1.15 mであった．この時，打撃点での速度は

$$v = L\omega = 1.15 \times 26.1 = 30\ [\mathrm{m/s}]$$

である．衝突前のHの運動量は

$$mv = 0.5 \times 30 = 15\ [\mathrm{kgm/s}]$$

である．同様に，第三紀軟岩を対手にしているつもりで上記の打ち込みより「かるめ」に打ち込んだところ，速度は14 m/sであったので，運動量は7 kgm/sと算定される（表2）．一方，柄の長さが40 cmの十字鍬をもって，「つよめ」に打ち込んだところ，速度は25.3 m/sであり，運動量は12 kgm/sとなる．同じように「かるめ」に打ち込んだところ，速度は11 m/sであり，運動量は5.5 kgm/sとなる．柄の長さが運動量に大きく寄与していることがわかる（表2）．運動量は撃力に直接影響する物理量なので，柄を長くとることによって，楽して強く打撃できることが予想できる．後述する計算方法で求めた撃力と挺子（身体的腕＋柄）の長さの関係を図8に示す．力の入れ具合は角速度で代表される．柄の長さの違いによって撃力の取り得る範囲が異なっていることがわかる．

これらの見積りが妥当かどうか，よく似た事例との類推から考察を進める．バットがボールに衝突する時の速度を求めた先行研究がある（吉福, 1995）．それによれば，ある武芸者が力まかせに殴打した時の瞬間最大速度が$v = 35$ m/s，プロ野球選手（当時）の王　貞治氏のバットの瞬間最大速度は154 km/h（≈42.7 m/s）であった．おそらくこの数値はアジア人的体格でバット等を振り回す時に出せる最速の速度に近いと推測できる．また武芸者の速度値35 m/sも一般的な野外地質学者が常時出せる速度

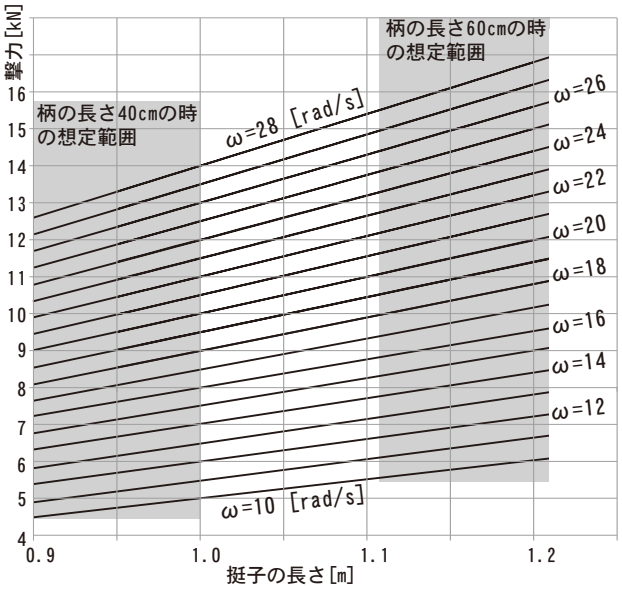


図8．挺子（身体的腕＋柄）の長さと角速度と撃力の関係．頭の重さは0.5 kg，持続時間は1 msと仮定した．灰色の領域はそれぞれ柄の長さが40 cm及び60 cmの場合に取り得る範囲を示す．

とは考えられない．したがって，これらの値は上限値と見做すべきである．仮に，野外地質学者が渾身の力を込めて速度$v = 35$ [m/s]で質量0.5 kgの山鍬を打ち下すことができたとして，運動量は，

$$mv = 0.5 \times 35 = 17.5\ [\mathrm{kgm/s}]$$

である．

衝突においては，ある運動量をもった物体が衝突という現象を介して自分のもっていた運動量を失い，その失う速さ（運動量の時間微分）に比例して相手には衝撃力（撃力）が伝達される．この撃力を求める際に必要なのが，運動量の伝達時間（運動の継続時間であり，撃力の持続時間でもある）である．先行研究（吉福, 1995）によれば，武芸者による鉄槌打ちで撃力の持続時間は244 ms，撃力$F$の最大値は400 kgf（3.92 kN）といった値が示されている．撃力の時間変化は打撃開始と同時に線形に上昇し，ピークを迎えて線形に低下する，二等辺三角形型のパターンを示している．したがって，力積は三角形の面積

$$\int F dt = 0.0002\ [\mathrm{s}] \times 3.92\ [\mathrm{kN}]/2 = 3.92\ [\mathrm{kNs}]$$

になる．二等辺三角形型のパターンで撃力が時間変化する（ここでは山型モデルと呼ぶ）ということは，最大撃力は，力積を継続時間で除したものを更に半分にしたものとして計算できる．つまり，実際の継続時間の半分の時間だけ，撃力は発生したが，その撃力は最大撃力であり，それ以外の時間では撃力がないというモデル（ここでは箱型モデルと呼ぶ）でも同じ力積になるということである．このことから，計算上，

$$F = \frac{mv}{t/2} = \frac{2mv}{t}$$

により，最大撃力$F$が算定できるということになる．

撃力は，打ち手の身体能力および熟練度に依存するが，継続時間は，衝突速度と衝突するものの剛性に依存すると考えられる．前者は打ち手の技量に依存するが，後者は山鍬・岩石の場合は一様と仮定してよい（岩石が軟岩か硬岩かにより剛性は有意に違うがここでは一様と仮定する）．前述の吉福（1995）によるバットの殴打の研究では木製バットで2.6 msという継続時間が示されている．山鍬の剛性は木製バットより高いから，これよりも継続時間は短かいと考えられる．また，4 kgのハンマーを用いて石を打撃する試験を行っている．石を直截打撃すると計測機器が破壊される虞れがあるので，石の上にクッションを引いている．クッションが5 cmの時，7 msの継続時間となっており，クッションの厚さに対して線形に継続時間が減少するとしている．計算上，クッションが0.5 cmであれば0.7 msの継続時間になるとしている（が計測機器が破壊される虞れがあり計測していない）．山鍬は4 kgハンマーよりは剛性がいくらかは低いので，これよりは継続時間が多少長いものと思われる．大雑把な目安，すなわち桁があっていればよい考え方では，山鍬に

よる第三紀堆積岩の打撃の継続時間を2 msの山型すなわち，1 ms箱形で近似してよいものと思われる．

なお，ボクシングや衝突事故では撃力が膨縮しながら減衰しするといったテイルの長いパターンが認められる（吉福, 1995）が，山鍬においては考慮しない．理由は衝突する物体は山鍬の頭部だけと近似できるためである．詳しく述べると次のようになる．膨縮減衰しながらテイルが長く伸びるタイプのパターンは，連結した複数の物体が多重衝突するような場合に起きる．これはボクシングでいうストレートパンチにたとえられる．まず，拳が衝突し，次に，前腕の運動量が拳を介して伝達され，更に上腕の運動量が前腕以下を介して伝達され，肩が... 上体が... 腰が... と次々に運動量が伝達される．これにより，ただ拳で殴られるよりははるかに強い撃力が継続的に与えられる．一方，山鍬の場合は運動量はほとんど頭部が担っており，柄以下は質量・速度ともに頭部より小さい．したがって打撃時に，追加的に柄の運動量は頭部を介して岩石に伝えられる量はわずかである．ために，頭部の撃力のみを考慮すればよいと考えられる．

1 msの箱型モデルによって撃力を求める．0.5 kgの山鍬を速度14 m/sでもって打撃する場合（60 cmの柄をおそめに振う場合，表2），撃力は，

$$\frac{0.5\,[\mathrm{kg}]\times 14\,[\mathrm{m/s}]}{1\times 10^{-3}\,[\mathrm{s}]} = 7\,[\mathrm{kN}]$$

である．速度の35 m/sの場合は，17.5 kNもの力となる．速度35 m/sはおそらく多くの（武芸者でない）野外地質学者が調査で山鍬を振う時の想定し得る最大値といってよく，17.5 kNは出力できる撃力の最大となるかもしれない．補足であるが，プロ野球の王　貞治選手（現役当時）のバットの瞬間速度は42.8 m/sである（吉福, 1995）から，力積は，

$$mv = 0.5\times 42.8 = 21.4\,[\mathrm{kgm/s}]$$

継続時間を1 msの箱型と考えると力積は21.4 kNもの力となる．王選手ほどの打撃速度は無理にしても，山鍬の打撃によって，普通の場合，7 kN，強めで15 kN，最大で17.5 kNもの撃力が発生する計算になる．

これを他の破壊的行為と比較してみる．一般的な男性の若者の利き手による殴打で生成する撃力は1.5 kNである（吉福, 1995）．ちなみにボクサーなど武芸者では3.5から6 kNもの値が知られている．3.5 kNの撃力を無防備に腹部に受けた場合，内蔵破裂を引き起こしかねない強さである．山鍬はもちろんそれより大きい撃力をもつので使用にあたっては怪我をしない/させないよう十分注意しなければならない．一方で，剣術では，有段者の男性大学生が竹刀で，防具を着装した測定器に打込みをした場合，300～500 Nであって（原口ほか, 2009），山鍬や殴打より格段に小さい．これは竹刀と防具の剛性が低く，継続時間が長い（原口ほか（2007）では6 msとされているが巽ほか（2011）では150 msという値も得られている）こと，及び竹刀が軽い（全体で0.5 kg程度，打突部だけだと0.2 kg程度）ためと考えられる．なお，殴打の場合，衝突しているのは拳ではなく，最低でも拳から上腕にかけてであり，武芸者の場合は腰までの運動量が力積として標的に伝達されるため，撃力が大きい．

ここでの計算が妥当かどうか簡単に検証してみる．コンクリートの剪断強度は4～6 MN/m$^2$程度（ただし，高強度コンクリートなどはこの限りではない．小林ほか（1980），石本（1996））である．ここでは単純化のため5 MN/m$^2$とする．山鍬によって発生する7 kNの撃力でもって，どれくらいのコンクリートが剥離できるか計算すると，

$$\frac{7\times 10^{3}\,[\mathrm{N}]}{5\times 10^{6}\,[\mathrm{N/m^2}]} = 1.4\times 10^{-3}\,[\mathrm{m^2}] = 14\,[\mathrm{cm^2}]$$

となる．山鍬で剥離し得るコンクリートの面積が14 cm$^2$（直径4.2 cmの円または一辺3.7 cmの正方形）という計算結果は体感的に首肯し得るものである．

ここでは継続時間を1 msの箱形モデル（つまり実際には2 msの継続時間の山型モデル）としたが，これは検証が必要である．山鍬の場合は打撃部が硬質の鋼あるいは鋳鉄であり，第三紀の地層とはいえ岩石も人体よりは高い剛性をもっていることを考慮すると，継続時間を2 msとするのはやや過小見積もりである．ただし，0.1 msといった極短時間の継続時間だとすると，撃力は20倍にもなる．後述する石の剪断強度を考慮すると，石のほうが耐えられない可能性がある．そのような短かい継続時間で衝突した場合，おそらく打撃を受けた近傍から変形が進行し（それが塑性変形なのか脆性変形なのかは岩質によるが），運動量の転換がスムーズにいかなくなるので結果として継続時間が遅延するのではないかと考えられる．

また，実際の軌道は円弧上になるため，うまく岩石にヒットさせると剪断ではなく，引張破断を導くことができる．地質学的にはよく知られているように剪断破壊より引張破壊のほうが起こしやすい．引張破断できる場合は，より低い撃力で岩石を剥離させることができる．露頭形態などが許す場合，野外地質学者はそうしている．

なお，頭部先端の形状の影響について補足する．鋭利なほうが局所的には撃力は強い．これは先端が細く鋭利ならば接触面積が小さくなり，接触面積が小さければ力積が同じでも単位面積当たりの撃力は強くなるためである．しかし，狭い面積に強い撃力が与えられても接触部分の岩石が粉砕するだけで観察・試料採取には適さないかもしれない．逆に，鋭利なために軟岩に刺さってしまって面積が増えてしまって単位面積あたりの撃力が落ち破断には到らない場合もある．経験的には砂岩は前者，泥岩は後者の挙動を示す．したがって，先端は鋭利すぎないように適当に丸めておく必要がある．このように先端の形状は重要であるが，以下の議論では理想的に運動量が伝達されるような形状をしていると仮定する．

**軟岩の剪断強度**

ここで対象にしているのはいわゆる第三系堆積岩（第三紀に堆積した堆積岩）である．その実態は，砂粒子の圧密は終了しているが圧力溶解や結晶化作用には到らず，基質の膠結作用が進みつつあり，粘土鉱物は相変化しつつある段階の岩石で，一般には「半固結岩」と呼称され，その軟質なところからしばしば「軟岩」と呼ばれる．もちろん，フィールドではそれよりも硬い岩石（たとえば中新世の女川層硬質頁岩）もあれば，軟らかい地層もある．また,「軟岩」というのはそもそもは典型的な岩と土との中間的なもので，もともとは機械掘りができるような硬さをした岩石を漠然と指すフィールドネームである．したがって硬さの条件さえ満せば堆積岩である必要はない．実際，地盤工学の分野では花崗岩等においても「軟岩」が定義されている（糟谷, 1978aなど).「軟岩」はいろいろな定義が試みられている．たとえば糟谷（1978a）は一軸圧縮強度が300 kgf/cm$^2$（約30 MN/m$^2$）より弱いものを軟岩とすること提案している．安達（1984）は1000 kgf/cm$^2$（約100 MN/m$^2$）を参考にそれ以下を軟岩にしているが，土質工学会編（1987）では圧縮強度100 kgf/cm$^2$（約10 MN/m$^2$）以下，地盤工学会編（2004）では圧縮強度が25 MN/m$^2$以下のものを軟岩としている．英米ではたとえば，Morgenstern and Eigenbrod（1974）は剪断強度で250 psi（約1.72 MN/m$^2$）を要注意軟岩と区分しているし，British Standards Institution（1981）のBS5930では12.5 MN/m$^2$以下の岩石をweakとしている．一般的には圧縮強度の値が10–30 MN/m$^2$以下の岩石を軟岩と呼んでいいだろう．

工学的には軟岩は上で概観したように圧縮強度，あるいは弾性波速度を基準に定量的に区分されている．これらは現場での定量のしやすさに依っているが，山鍬が岩石を打撃する場合に重要なのは圧縮強度ではなく，剪断強度である．剪断強度のデータは圧縮強度に比べると豊富とはいえないが，一般に圧縮強度に対して剪断強度は1桁小さい．

第三系堆積岩は軟岩と硬岩が含まれるため，その大雑把な強度の範囲を文献から求める．高橋ほか（1985）による「建設工事における地質工学」では中硬質岩・軟質岩の剪断強度として2–125 kgf/cm$^2$（196 kN/m$^2$～12.2 MN/m$^2$）の値をとっている．この中には珪質頁岩・硬質頁岩を含めて，それよりも硬質な中硬質岩も含められており，12.2 MN/m$^2$は第三紀の堆積岩がとりうる剪断強度の最大値と考えられる．極まれに産する中硬質岩を除いた資料として桑原（1984）では剪断強度の分布は4.3～23 kgf/cm$^2$（438 kN/m$^2$～2.35 MN/m$^2$）が提示されている．第三紀の堆積岩の剪断強度としてはこれくらいが取り得る範囲と考えられる．

また，試験値は供試体の大きさ（スケール効果）や試験方法・条件によって値はかわり得るものである．ここではこれまでの文献記録から代表的な第三紀の岩石の剪断強度を列挙する．なお，机上で思ったようには画一的にいかないのが野外であり，これらは考察をする上での目安として用いることに注意されたい．

中部電力株式会社（2007）によると，相良（さがら）層の泥岩の剪断強度は1.86～2.56 MN/m$^2$で，砂岩のそれは0.25～0.39 MN/m$^2$となっている．また，東京電力株式会社（2009a）によれば，西山層（塊状泥岩相）の剪断強度は1.37 MN/m$^2$であって，下位の椎谷（しいや）層（砂岩泥岩互層相）のそれは西山層との境界付近で1.5 MN/m$^2$である．なお，上述の地層は掛川地域および新潟地域において地域を代表する有名な地層である．

松井・山本（2004）は北海道道北の幌延地域の第三系堆積岩の力学的特性を求めている．それによれば，声問（こえとえ）層の珪藻質泥岩では1.21 MN/m$^2$，稚内層の硬質頁岩（hard shale）では2.48 MN/m$^2$の剪断強度を示している．両層とも道北の標準的な層序単元である．

東北日本の鮮新統などでよく見られる浅海成の砂岩層については，たとえば古谷（1981）が長野県北部の信州新町奈良尾地区の鮮新統柵層（しがらみ）権田（ごんた）部層の剪断強度を8.5 kgf/cm$^2$（≈0.83 MN/m$^2$）としている．柵層については上述の模式地的な地層ほど著名でないと思われるので簡潔に記しておく．加藤ほか（1989）によると権田部層は砂岩礫岩からなり，砂質泥岩の挟みを伴う．また，軟体動物化石として*Glycymeris*，*Anadara*，*Ostrea*，*Patinopecten*などを産し，生痕化石として*Rosselia*を産している．

以上から，ごく大雑把に0.2～3 MN/m$^2$を第三系堆積岩の剪断強度の範囲とすることができる．そのうち，硬質頁岩のように2.5 MN/m$^2$を超える固結岩は，山鍬ではなく岩石ハンマーの対象であるから，山鍬としては固結度がそれより低い半固結岩を対象にすればよい．また，硬質頁岩には節理が入っており，山鍬の打撃によって頁岩そのものが剥離するのではなく，節理のところで剥離するため，硬質頁岩そのものの剪断強度はこの場合，考慮しなくてよい．上述の値を総合すると，山鍬が対手とする岩石の剪断強度の最大値としては2 MN/m$^2$程度であり，しばしば対手にするのは1～1.5 MN/m$^2$程度の岩石と思われる．

参考までに，第三系堆積岩よりも強度の高い岩石について若干触れておく．花崗岩は風化によって著しく強度を損うことが知られている（マサ化）．したがって，強度の範囲もしくは最大値を見ることが肝要である．糟谷（1978b）では花崗岩の剪断強度は12～20 MN/m$^2$の範囲にある．根岸・星野（1974）では最大値が約22 MN/m$^2$であり，同様に考えられる．これらの値は硬質頁岩と比較してみても著しく高い．Mogi（1964）の稲田花崗岩（茨城県）の三軸圧縮試験結果に基づいて，グッドマン（1984）は剪断強度を47.7 MN/m$^2$という高い値に見積っ

ている（圧縮強度は141 MN/m$^2$）．これは他の花崗岩に比してもかなり高い値といえる．

花崗岩を第三紀ハンマーの対手にすることは稀であると思われるが，第三紀に多い火山岩はしばしば対手にすることになる．第三紀の火山砕屑岩は岩相あるいは定置後の変質・続成などで多様な硬さを示す．例をあげる．二上山（大阪府及び奈良県）の凝灰角礫岩は比較的緻密・硬質な火山砕屑岩であり，高松塚古墳（奈良県）でも使用されているが，これの圧縮強度は6.39 MN/m$^2$，引張強度は1.06 MN/m$^2$であって（国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会, 2005），Mohr円の包絡線から推定される剪断強度は計算上1.3～1.8 MN/m$^2$程度である．これは少し硬めの第三紀の堆積岩と同程度であるが，もっと硬い例もある．東京電力株式会社（2009b）によると下北半島の中新世泊層の安山岩質のガラス質凝灰岩の剪断強度は6.31 MN/m$^2$あり，同安山岩熔岩は6.06 MN/m$^2$となっている．

**山鍬による剥離過程**

これまでで大雑把であるが，山鍬のもち得る撃力及び対象とする岩石の剪断強度の値を推定することができた．これらをもとに破壊（剥離過程）の推定を行う．

最初に山鍬によって露頭から切りとられる（剥ぎとられる）剥離面（断層面）の面積を仮定する．経験的には，一発の山鍬の打撃によって25 cm$^2$（5 cm×5 cmの正方形あるいは半径2.8 cmの円）程度の面積が剥離できればよい（もちろんそれ以上であればもっとよい）．

対手とする岩石の剪断強度は，典型的な第三紀軟岩1 MN/m$^2$（$1\times10^6$N）とし，この岩石に25 cm$^2$（$25\times10^{-4}$m$^2$）の剥離面ができたとする．その時，そこにかかった撃力$F$は

$$(1\times10^6)\times(25\times10^{-4}) = 2500\,[\mathrm{N}] = 2.5\,[\mathrm{kN}]$$

である．これは40 cmの柄の園芸用十字鍬で軽く打撃することにより生成される撃力5.5 kN（表2）より小さい．つまり，この柄で軽く打つことにより25 cm$^2$の面積が剥離できるということになる．なお，実際の調査では岩石が不用意に飛び散ることを避けるため，あらかじめ岩石の硬さを目分量で推定して，それに見あった速度で打撃を行う．熟練した調査者は岩石は破断はするが移動はしないように打撃を加える．

逆に5.5 kNの打撃により剥離可能な面積は，

$$\frac{5.5\times10^3}{1\times10^6} = 5.5\times10^{-3}\,[\mathrm{m}^2] = 55\,[\mathrm{cm}^2]$$

となる．力がほぼ倍なので面積としても，ほぼ倍となる．では，柄が60 cmの第三紀ハンマーではどうであろうか．既に計算したように（表2）撃力は，かるめの打撃では7 kN，つよめの打撃では15 kNであるから，1 MN/m$^2$の剪断強度の岩石をそれぞれ77 cm$^2$，および150 cm$^2$剥離することが可能である．

逆に，60 cm柄の第三紀ハンマーと40 cm柄の園芸用十字鍬を，軽くあるいは強く打撃した時の撃力でもって，どの程度の岩石をどれくらい広く剥離できるであろうか．やや固めの軟岩（1.5 MN/m$^2$）および，硬質頁岩（2.5 MN/m$^2$）について面積を計算した（表2）．60 cm柄のかるめ（角速度12.2 [rad/s]）の打撃と同じ撃力7 kNを得るには，40 cm柄では計算上，角速度15 rad/sの速度での打撃を要する．これは60 cm柄のときに対して，2.3割増しであって，その分，労力を使ってしまう．理想的には常にかるめの打撃により，岩石を剥離できたほうが調査の効率はよいわけで，40 cm柄をもちいて調査する場合，露頭の岩質によっては常時つよめに山鍬を振るわなければならないことを意味している．これは（第三紀ハンマー使用者から見るとムダな）疲労を増すことになる．更に，40 cm柄の場合，かるめの打撃では2.5 MN/m$^2$の岩石では22 cm$^2$程度の面積しか剥離できず，すこし岩相が硬質になると，40 cm柄のものは実用性に疑問がでてくる．参考までに同様の条件で剪断強度20 MN/m$^2$の花崗岩及び5 MN/m$^2$の火山砕屑岩の場合を示してみると60 cm柄使用で3.5 cm$^2$及び14 cm$^2$，40 cm柄使用で2.8 cm$^2$及び11 cm$^2$となる．第三紀ハンマーの対象として花崗岩は適切でないとしても，5 MN/m$^2$程度の火山砕屑岩はしばしば「グリーンタフ」として第三系中に挟在するため，これらにおいてもある程度は剥離できることが望ましい．このような局面において60 cm柄は40 cm柄よりも有利であると言える．

また，それぞれの撃力でもって，50 cm$^2$剥離可能な岩石の剪断強度も求めた（表2）．60 cm柄のつよめの打撃では剪断強度3 MN/m$^2$もの岩石が剥離できるので，60 cm柄であれば，ほとんどの第三紀軟岩に対して，十分な面積を剥離させることができると考えられる．また，40 cm柄のかるめであっても，1.1 MN/m$^2$の岩石の剥離は可能だから，多くの第三紀軟岩に対して，40 cm柄であっても使用に著しい困難をきたすわけではない．打撃回数を増すことによって必要な剥離面積が得られるものと考えられる．ただし，その分，疲労することに留意する必要がある．

## 理想の第三紀ハンマーの満すべき条件

魚沼ハンマー並びに房総ハンマー，柄を換装した園芸用十字鍬の諸元に基づいて理想の第三紀ハンマーを検討した．

頭の重量としては，主観的意見であるが実用的には400～500 g程度と考えられる．もちろん個人差もあり，既存の諸元に基づいて広めにとると350～550 gの範囲まで可能かもしれない．軽い場合は（通俗的な意味での）破壊力に不足があり，重い場合は取り回しが困難かと思われる．頭部の重量で1 kg程度のバチツルは入手しやすいが，

日本刀の重量が1 kg程度（たとえば国宝童子切安綱，刃長80 cm，茎長20 cm（佐藤, 1971））であることを考慮すると片手用としては使用できない．重いものは更に持ち運びにも不便がある．更に，岩石ハンマー（0.8～1 kg程度）と重量が近接すると似たような道具になってしまい，差別化の観点から重量が現状より格段に増えることは望ましくない．

柄の長さは55～60 cm程度が想定される．この値は魚沼・房総ハンマーの値に依っている．大雑把な力学的検討によれば，柄が40 cm以下のものは発生する撃力が第三紀の岩石に対して不足する場合がある．理論的には長ければ長いほど力で得をすることになるが，山鍬の性質上，可能な長さには上限がある．厳密には検討していないが，これ以上長い場合，山での取り回しに不都合をきたす可能性がある（特に，沢での打撃の際，枝や蔦にひっかかる可能性がある）．また，柄を長くすると必然的に柄の重量がまし，総体として重量が過剰になる．小太刀（片手用の太刀）の長さが丁度，2尺（60 cm，たとえば田辺, 1989）ということも同じ片手用である第三紀ハンマーの長さとして符号しているようにも見える．

## おわりに

冒頭に銅鐸の例を挙げ，技術は失なわれてしまうと恢復が難しいことを述べた．銅鐸は．確かに文化的には重要であるが，しかし銅鐸を復元できないからといって今日の生活に特に支障があるわけではない．悪い言い方をすれば，残っていればいいけれど，残っていなくても問題のない技術かもしれない（筆者らは銅鐸をおもしろいものとして見ており，残っていないことを残念に思っていることを念のため付記する）．

では，第三紀ハンマーは如何であろうか．第三紀ハンマーだけなく，野外地質学が失われた後でも，理論的地質学研究や，既存試資料をもとにした実験的地質学ないしは試料分析的地質学は発展するかもしれない．しかし，それらの研究が還ってくるところは現実の地質体である．実際にどうであるかと対照する気がないというのは自然科学としては非常に考えにくい．自然科学には対照となる自然（現実）が必要である．その現実の地質体にアプローチする唯一の手段が，野外地質学である．地質学総体として野外地質学が重要だというだけではない．人が地上に暮す限り，地質学は市民生活の安寧に直結しており，野外地質学の存続は単に地質学だけの問題ではない．

第三紀ハンマーに代表される野外地質学は地質学の銅鐸ならぬ木鐸として存在しつづけなければならないと筆者は考える．しかし，銅鐸のように失われてしまう危惧もある．そのために第三紀ハンマーを復活される場合に必要な情報をここに記した．

## 謝辞

魚沼ハンマーの歴史的経緯や意義について小林忠夫氏，飯山健勝氏及び小林巖雄新潟大学名誉教授にご教示いただいた．房総ハンマーの歴史的経緯や意義については平山次郎氏並びに小玉喜三郎氏にご教示いただいた．株式会社ドウカンおよび浅香工業株式会社には，鍬の形態値をご教示いただいた．力学的検討については上原真一博士（東邦大学）・杉田創博士（産業技術総合研究所）から有意義な指摘をいただいた．査読者の丁寧な指摘により原稿が改善された．記して謝意を表する．

## 文献

安達徑治，1984．掘削施工性から見た岩分類：特に土砂，軟岩，硬岩の区分について．応用地質，特別号，119–131.

天野一男・秋山雅彦，2004．フィールドジオロジー入門．154p.，共立出版，東京.

British Standards Institution, 1981. *Code of Practice for Site Investigations: BS 5930.* 192p., British Standards Institution, London.

中部電力株式会社，2007．浜岡原子力発電所3，4号機「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」の改訂に伴う耐震安全性評価に関わる報告．原子炉建屋基礎地盤の安定性評価について（補足説明）．経済産業省総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会耐震・構造設計小委員会地質・地盤ワーキンググループ（第3回）資料（地質W 3-7）．http://www.meti.go.jp/committee/materials/g70626aj.html（2011/09/28閲覧）

土質工学会編，1987．堆積軟岩の工学的性質とその応用．388p.，土質工学会，東京.

Finney, S. C., 2010. Formal definition of the Quaternary System/Period and redefinition of the Pleistocene Series/Epoch. *Episodes*, **33**, 159–163.

古谷　保，1981．奈良尾地すべり地区の第三紀層泥岩及び粘土のせん断強度と安定解析による強度常数の検討．農業土木試験所技術報告C（造構），**22**，41–52.

グッドマン，R. E.［大西有三・谷本親伯訳］，1984．わかりやすい岩盤力学．269p.，鹿島出版会，東京．[Goodman, R. E., 1980, *Introduction to Rock Mechanics.* 478p., John Wiley & Sons, New York.]

原口秀徳・富樫泰一・巽　申直，2007．剣道の正面打撃における打撃力測定装置の試作．茨城大学教育学部紀要（教育科学），**56**，141–147.

原口秀徳・巽　申直・富樫泰一，2009．剣道の正面打撃における打撃力と足底力の関係．茨城大学教育学部紀要（教育科学），**58**，345–351.

ICS (International Commission on Stratigraphy), 2009. *International Stratigraphic Chart 2009.* http://www.stratigraphy.org/ics%20chart/StratChart2009.pdf

石本祐吉，1996．線路觀察學．238p.，アグネ技術センター，東京.

地盤工学会編，2004．岩盤の工学的分類方法．JGS-3811-2004．70p.，地盤工学会，東京.

加藤碩一・佐藤岱生・三村弘二・滝沢文教，1989．5万分の1地質図幅「大町」及び説明書（地域地質研究報告）．122p.，地質調査所，つくば.

糟谷憲司，1978a．岩石の物理量の相互関係および物理量による岩石の工学的分類に関する一考察．応用地質，**19**，128–149.

糟谷憲司，1978b．資料：岩石の物理量の相互関係．応用地質，**19**，150–157.

川喜田二郎，1973．野外科学の方法．210p.，中央公論社，東京.

桐島正一・現代農業編集部，2011．桐島さんが研修生に直伝：鍬

の使い方のコツ．現代農業，**8**，128–135.
小林一輪・魚本健人・峰松敏和，1980．鋼繊維補強コンクリートのせん断強度試験方法に関する実験的研究．生産研究，東京大学生産技術研究所，**32**，229–232.
国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会，2005．平成17年度国宝高松塚古墳壁画恒久保存対策検討会（第4回）配布資料「石材の調査結果について（凝灰角礫岩の強度調査）」．文化庁，http://www.bunka.go.jp/1hogo/takamatuduka_kentoukai4.html（2011/09/28閲覧）
久野雄一郎・森　浩一，1987．銅―高い技術にささえられた古代の銅製品．森，古代技術の復権，188-215．小学館（小学館ライブラリーで1994年に再版），東京.
久野邦雄，1997．銅鐸の復元研究．174p.，久野邦雄遺稿集刊行会，橿原.
桑原啓三，1984．岩石の圧縮強度と剪断強度による分類の試み．応用地質，特別号，25–33.
松井裕哉・山本卓也，2004．幌延地域の新第三紀堆積岩の力学特性．土木学会第59回年次学術講演要旨，23–24.
Mogi, K., 1964. Deformation and fracture of rocks under confining pressure(1): Compression tests on dry rock sample. *Bulletin of Earthquake Research Institute, the University of Tokyo,* **42**, 491–514.
Morgenstern, N. R. and Eigenbrod, K. D., 1974. Classification of argillaceous soils and rocks. *Journal of the Geotechnical Engineering Division,* **100**, 1137–1156.
長森英明，2007．魚沼ハンマー．地質ニュース，**639**，65–66.
根岸正充・星野　寔，1974．岩石の強度に関する研究：特に圧縮，引張，せん断強度と超音波伝播速度の関係について．北海道開発局土木試験所月報，**249**，1–10.
坂　幸恭，1993．地質調査と地質図．109p.，朝倉書店，東京.
佐藤寒山，1971．日本名刀100選．278p.，秋田書店，東京.
高橋彦治・菊地宏吉・吉川恵也・桜井　孝，1985．建設工事における地質工学．316p.，鹿島出版会，東京.
高橋華王，1993．銃剣道教本．216p.，ベースボール・マガジン社，東京.
高野佐三郎，1982．剣道．380p.，島津書房，東京.
田辺哲人，1989．小太刀護身道．206p.，叢文社，東京.
巽 申直・富樫泰一・林 雅宏・岩瀬　学・岡嶋 恒，2011．剣道正面打ちにおける手のうちの作用力：基本打ちと実践的な打ちの比較．茨城大学教育学部紀要（教育科学），**60**，199–206.
徳橋秀一編著，2011．ご地層の話：地層観察・地質調査・露頭保存の重要性を唱えつつ．203p.，実業公報社，東京.
東京電力株式会社，2009a．柏崎刈羽原子力発電所7号機原子炉建屋基礎地盤の安定性評価について．新潟県原子力安全対策課，地震，地質・地盤に関する小委員会（第17回）資料（地小委17-3）．http://www.pref.niigata.lg.jp/genshiryoku/17jisingiji.html（2011/09/28閲覧）
東京電力株式会社，2009b．東通原子力発電所基礎地盤安定性評価に係る地盤分類，岩石・岩盤物性，解析用物性設定．経済産業省原子力安全・保安院原子力発電安全審査課．地盤耐震意見聴取会（第63回）参考資料（0.6-東通設C-39）．http://www.nisa.meti.go.jp/shingikai/800/2/063/j0000000-63.html（2011/09/28閲覧）
吉福康郎，1995．格闘技「奥義」の科学．222p.，講談社（ブルーバックス），東京.
横山俊治，2007．地表地質踏査技術の伝承．地質と調査，**113**，19–22.

（2012年7月13日受付，2012年10月31日受理）