

燃焼の火力および危険性に関する評価

山崎和彦・原 麻衣子・古屋聡美

生活環境学科 生理人類学研究室

Evaluation of the Heat and Danger of Combustion

Kazuhiko YAMASAKI, Maiko HARA and Satomi FURUYA

Department of Human Environmental Sciences, Jissen Women's University

Various materials are burned in outdoor activities and natural disasters. The purpose of this study was to observe the thermal power and dangerous level of combustion. In experiment 1a, the highest thermal power was obtained when disposable chopsticks were burned using *itto-kan* stove of own making. In experiment 1b, the thermal power of *bincho* charcoal was superior. In experiment 2a, the temperature of ceiling of simulated shelter was measured. Two conditions, namely, three sidewalls and non-sidewall were prepared. The temperature of ceiling was 147.1°C in the former and 66.1°C in the latter with the ceiling height of 40cm. In experiment 2b, we observed the flammability of withered leaf. We discussed the suitability regarding new indexes of thermal power suggested by us and the properties of danger of fire.

Key words : combustion (燃焼), heat (火力), danger (危険性), outdoor activities (野外活動), natural disaster (自然災害)

1. 緒言

約 50 万年前のものといわれている北京原人の遺跡には、長年にわたり火を用いた痕跡が認められる。火を用いた最古の人類はホモ・エレクトスであり、その遺跡は約 190 万年前のものと考えられる。火は生活技術および文化面における革命であり、暖房、照明、調理、通信、加工、儀式などに広く関わっている (山崎、2010)。

これは現代でも変わるところがない。日々の暮らしにおいて特に重要であるのは、加熱によって栄養の摂取が容易になり、かつ食品が殺菌されることである (泉谷、1992)。かくして電気やガスなどに頼り熱を利用しているのであるが、野外活動や自然災害に際して採暖や煮炊きが必要とされるとき、火の扱い方や危険性について、改めて認識することとなる。

本研究の目的は、野外で煮炊きを行う際の一助とすべく、身近にあるものを燃焼させたときの火力について比較し、また、これに伴う危険性について把握することであった。

2. 方法

2-1. 概要および実験区分

本研究は 2011 年の秋に実施した。実験は 2 種に分けられ、各々はさらに区分される。表 1 に概要についてまとめた。

室内での燃焼実験では、気温は 24 ~ 26°C、相対湿度は 50 ~ 60% であった。また屋外での実験は常に晴天下で実施し、気温は 19 ~ 26°C、相対湿度 52 ~ 79% であった。低い気温と高い相対湿度が記録されたのは、後述の実験 2 a において、実験が日没後に及んだためである。風速は測定しなかったが、風による外乱はわずかであると判断した。

実験 1 では、各種燃料の火力について、また実験 2 では火力の危険性について評価した。

実験 1 はさらに 2 種に区分した。実験 1 a では、水 500ml を、実験 1 b では水 2,000ml を加熱したときの水温の推移について観察した。各々において、ステンレス製 (容量 1.7 リットル、底面の直径 16.0cm)、およびアルミ製 (容量 3.3 リットル、底面の直径 18cm) のヤカンを使用した。

表 1 実験区分と概要

<p>＜実験 1 各種燃料の火力の比較＞</p>	
実験 1 a	<p>水 500ml を沸かす所要時間</p> <ul style="list-style-type: none"> ・器具：一斗缶ストーブ、カセットガスコンロ、七輪 ・燃料：割り箸、新聞紙、落ち葉、木炭、液化ブタン
実験 1 b	<p>水 2,000ml を沸かすときの水温の推移</p> <ul style="list-style-type: none"> ・器具：七輪 ・燃料：品質の異なる 3 種の木炭
<p>＜実験 2 火力の危険性の評価＞</p>	
実験 2 a	<p>異なる天井高における表面温度の比較</p> <ul style="list-style-type: none"> ・器具：カセットガスコンロ、七輪 ・燃料：液化ブタン、木炭（量販品）
実験 2 b	<p>各種燃料の発火時間の比較</p> <ul style="list-style-type: none"> ・器具と燃料：カセットガスコンロ、液化ブタン ・試料：落ち葉、新聞紙、コピー用紙、ティッシュペーパー、タオル、割り箸

実験 2 についても 2 種に区分し、実験 2 a では、小屋を想定し、炎の直上に位置する天井表面の温度を測定した。実験 2 b では、炎から一定の高さに各種試料を設置し、発火するまでの時間について観察した。

実験 1 a と実験 2 a では、データコレクタ（安立製、AM-7002）により温度を測定した。センサも安立製であり、各々において 540E および SG-E を用いた。なお、実験 1 b では棒状温度計を使用した。

木炭は、量販品（6 kg で 578 円）、備長炭 1（マレーシア産、2 kg で 998 円）、備長炭 2（高知県産、2 kg で 2,480 円）の 3 種とした。なお木炭の輪郭に対しプラニメータ（タマヤ製、Planix 10S）を用いて面積を求め、平均的な厚さを乗じて体積を推定した。これらを経て密度を算出した結果、上記 3 種は、各々、0.67、1.33、0.91 (g/cm³) であった。

2-2. 実験 1 a および実験 1 b

実験 1 a では、一斗缶ストーブ（自作による。図 1 参照）、カセットガスコンロ（岩谷産業製、CG-8、液化ブタンを使用）、七輪（キンカ製、珪藻土を使用）を使用した。なおカセットガスコンロおよび七輪のデータは、後述の実験 2 a に適用した。

一斗缶ストーブによる燃焼では、ヤカンの水温が

90℃を超えた時点で燃料の追加を中止した。それに至る燃料の総量は次の通りである。割り箸 115g（25 膳分）、新聞紙 280g（14 枚）、落ち葉 300g、木炭 400g（量販品）。なお一斗缶ストーブの火皿の位置は、割り箸と木炭については上側、新聞紙と落ち葉については下側とした。七輪には木炭 317g（量販品）を用いた。

火力の評価のため、水温が 60℃から 90℃に至るまでの所要時間（以下、「P60-90」と略す。単位は分）を求めた。

実験 1 b では七輪 3 個を用いて、木炭 3 種の火力について比較した。量販品は 240g、備長炭 1 および備長炭 2 は共に 247g であった。火力評価の指標については、水温 60℃以上が保持される期間（以下、「PE-60」と略す。単位は分）とした。水温の変化を棒状温度計で繰り返し測定するため、ヤカンには蓋を取り付けなかった。



図 1 自作した一斗缶ストーブ

解説：火皿の高さは、上辺から 11cm および 22cm の 2 種とし、各々について上側、下側と表記した。

2-3. 実験 2 a および実験 2 b

実験 2 a では 90 × 90cm の合板を天井面とし、これをロープで吊し、高さを変え得るようにした。図 2 に概要を示す。

側壁については、これが無い条件と三方を囲む条件の 2 種を設定した。天井面の板の周囲には幅 10cm の枠を取り付け、側壁とクランプで固定でき、かつ天井面と側壁のすき間を塞ぐ構造とした。天井面の板には 3 箇所（中央部、側壁から 2.5cm 離れた箇所、および両者の中点）に穴を開け、ここに温度センサを通過させて固定し、炎側の表面温度を測定した。センサ位置については、中央部から順に①、②、③とした。

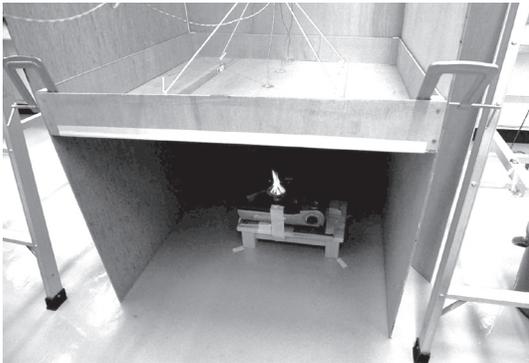


図2 実験2 aの様子

解説：側壁が三方を囲む条件を示している。温度センサは、中央部から奥の側壁に向かい、①、②、③が配置されている。カセットガスコンロの下には台を置き、七輪と同じ高さになるようにした。

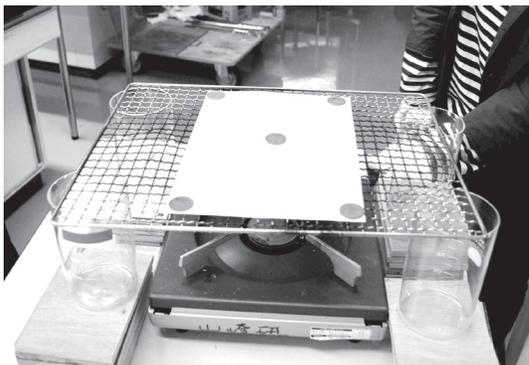


図3 実験2 bの様子

解説：上昇気流により試料が浮き上がるため、四隅と中央に10円硬貨計5枚が乗せてある。

天井高は、カセットガスコンロおよび七輪の五徳に金網を置いた状態を基準とし、ここから天井板の下側面までの鉛直距離とした。

天井面の温度は時間と共に徐々に上昇する。そこで値が十分に安定するまで、6～9分間にわたって温度測定を続けた。

実験2 bでは、カセットガスコンロを使用し、五徳から高さ10 cmのところを金網を水平に設置した(図3)。燃烧のための試料は、落ち葉、新聞紙、コピー用紙(B5サイズ)、ティッシュペーパー、タオル、割り箸とした。コピー用紙および割り箸以外は、ティッシュペーパーと同一のサイズ(20×22cm)とした。なお、試行は3回とした。

3. 結果

実験1 aにおける、水温の推移について図4に示す。割り箸と七輪を除き、時間経過に伴い、水温はほぼ直線的に増加を示した。

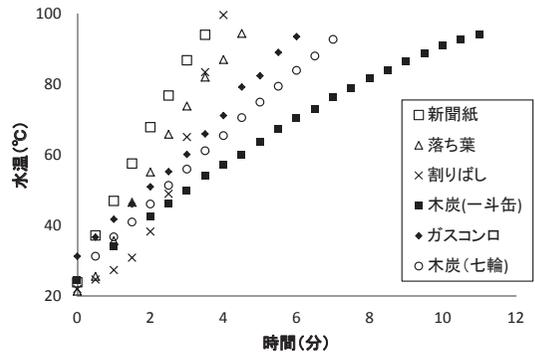


図4 実験1 aにおける水温の推移

解説：新聞紙、落ち葉、割り箸、木炭の4種は、自作した一斗缶ストーブを用いて燃焼させた。木炭の重量は一斗缶では400g、七輪では317gであるが、火力は後者の方が高い。

表2にP60-90について示す。ヤカンを用いて500mlの水を沸かすとき、割り箸が燃料である場合は早く、木炭と七輪の組み合わせでは遅いといえる。

表2 P60-90の比較(単位:分)

一斗缶ストーブ	割り箸	0.89
	新聞紙	1.39
	落ち葉	1.87
	木炭	5.54
カセットガスコンロ		2.69
七輪と木炭		3.26

図5に実験1 bにおける水温の推移について示す。量販品、備長炭1、備長炭2におけるPE-60は、各々、84、112、100(分)、また蒸発量は各々、380、537、492(g)であった。

図6に実験2 aの結果について示す。三方に側壁がある条件では、これがない条件に比べ、天井温が高くなることが明白である。また、センサの位置が中央に近づくほど、高温となる。

最も高温となったセンサ①の、天井高40、70、100、140cmにおける温度は、カセットガスコンロでは、

三方に側壁があるとき各々、147.9、78.4、53.6、31.9℃、側壁がないとき各々、66.1、49.8、41.4、34.5、31.8℃であった。

実験 2 b の結果を表 3 に示す。これは、カセットガ

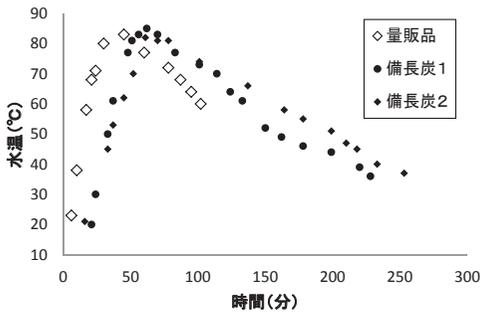


図 5 実験 1 b における水温の推移

解説：量販品の木炭による燃焼実験では、水温が低下して 60℃に至った時点で観測を中止した。

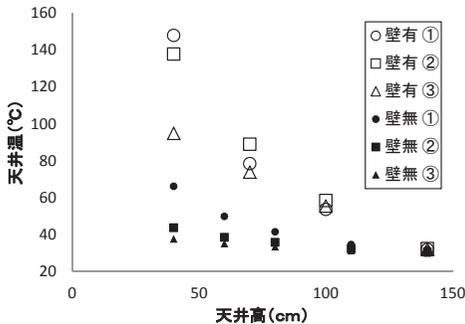


図 6 実験 2 a における天井温の比較

解説：カセットガスコンロを設置した状況について示したものである。三方に側壁があり、天井高が低いほど、またセンサが中心に位置するほど、天井面の温度は高くなることが分かる。七輪でも同様の結果となった。

表 3 各種試料の発火に至るまでの時間 (秒)

試料	平均	s d
落ち葉	7.0	1.4
新聞紙	24.7	3.5
コピー用紙	32.0	15.1
ティッシュペーパー	33.0	1.7
タオル	39.7	26.3
割り箸	51.0	12.3

スコンロに着火した後、試料が発火するまでの時間 (秒) について比較したものである。枯れ葉が最も燃えやすいといえる。

4. 考察

実験 1 a では水 500ml を、実験 1 b では水 2,000ml を加熱した。前者は、多くのインスタント食品の類を調理する際に必要とされる量であり、一人分の食事を準備したい状況での標準的指標になり得ると判断した。後者の分量は、長期にわたり加熱するため、蒸発によって水分が失われないよう配慮したものである。

試料を燃焼させる装置として、自作の一斗缶ストーブ、カセットガスコンロ、七輪の 3 種とした。これらは野外活動時あるいは災害時に利用される代表例とみなし得るであろう。また、カセットガスコンロでは長時間にわたり火力が安定するため、燃焼実験に際し、基準値を得る上で都合がよい。

ストーブの火力を比較するとき、所定の分量の水が沸騰するまでの所要時間を求めることがある。筆者らはこの方法を採用しなかった。なぜなら、沸騰開始を見極めることは容易ではなく、また、高山すなわち低気圧下では低い温度で沸騰するため、普遍的な評価指標となり得ないと判断したためである。

標高 2,000m および 3,000m における水の沸点は、各々、93.4 および 90.0℃である (檜木, 1992)。したがって、ストーブの火力評価を行う際、P60-90 はその指標として国内の多くの場所において適用できることになる。

水 500ml を沸かすための火力を P60-90 に基づき評価すれば、割り箸 115g、新聞紙 280g、落ち葉 300g などを燃焼させる方が木炭より高い。しかしながら、割り箸や新聞紙などは直ぐに燃え尽きてしまうため、長時間にわたって煮炊きする際の火力については、別の指標が必要となる。

そこで、実験 1 b において、水 2,000ml に対し 60℃以上を保持する期間、すなわち PE-60 を設定した。この実験を通じて、木炭は量販品より備長炭の方が優れることが明らかとなった。なお、備長炭の密度は量販品より高く、このことが火力の持続性に関与していると思われる。

備長炭は燃料として優れるように見える。しかしながら高価格であり、火熾しも量販品に比して困難であ

る。火力が低下すれば、そのつど燃料を追加すればよいのであるから、量販品であっても、使い方次第では備長炭に優ることになる。

レンジフードについては多くの法令があり、素材や、火元からの距離などの諸元が定めてある。天井面を火元から離すほど安全になることは明白である。しかし、天井が低い状況にありながら火気の使用を余儀なくされることもある。そこで、どれほどの距離になると危険であるのか検討するため、極限の狭さを想定して実験装置を組み、実験 2 a を実施した。

その結果、三方に側壁を設けたとき、壁がない状態に比して高温となることが判明した。側壁があるために高温に熱せられた空気が天井面に溜まった為と解釈できる。今回の実験で得られた最高温度は、カセットガスコンロを使用し、天井高を 40cm とした場合であり、天井中心部において 147.9℃となった。ちなみに側壁がない条件では 66.1℃であった。

理科年表 (2010) によれば、発火点は、木材 250 ~ 260℃、新聞紙 291℃、木炭 250 ~ 300℃である。したがって、天井高 40cm の場合、直ぐに火災が発生することはないが、危険域に近いことは事実である。また、灯油 (発火点 40 ~ 60℃) などが付着している恐れもある。したがって、特に閉鎖的構造の場合、安全のため、火元から十分に距離をとる必要がある。

カセットガスコンロの五徳から 10cm の距離にあるとき、落ち葉は 7秒で発火した。このように燃焼しやすい物質が風に舞う状況では、よく注意する必要があるといえる。

引用文献

- 泉谷希光 (1994) : 生活文化論 (第 4 章、食の生活文化)、井上書院、88-89。
- 国立天文台編 (2010) : 理科年表、丸善、413。
- 榎木暢雄 (1992) : 人間工学基準数値数式便覧 (7 章、人間と環境)、技報堂出版、388。
- 山崎和彦 (2010) : 生理人類学入門 (第 3.4 章、文化)、国際文献印刷社、27。