

自然災害直後の人力による重量物運搬法

— 縄を併用する梃子及び掛け縄運搬の力学 —

穴山 疆¹

Transport Technique for Heavy Load Just after Natural Disasters

—Dynamics of leverage with a rope and Kake-nawa method—

Tsutomu ANAYAMA

E-mail: anayama2tom@icloud.com

Abstract

Our country usually suffers from natural disasters. It is needed for us to have a faster action for saving lives or for removing obstacles on roads with human power. It is known that communities prepare iron levers and others to be used for the purpose at once. An iron lever is not so powerful to move heavy obstacles covering crashed houses or roads. Length of a popular lever is too short to get more powerful leverage effect. An iron lever can push things upward or forward mainly. If we can use the lever with a rope, we will be able to draw out obstacles. But the lever we have is too short to have big force. The author got a hint from Y-shaped huge log found at Jomon ruin at Oyabe city. The length of which is about 2.5meter. If the log was used as a lever with a rope, it can be a powerful lever to move things to any direction. This experiments of 'leverage with a rope', showed an extraordinary power saving effect with a simple action. You will be able to use a ladder as a long power full light lever with a rope. There is another transport method named 'Kake-nawa method' being used by workers of small grade landscaping industry or forestry even now. The method can rotate obstacles as shown in last picture of this paper.

キーワード：自然災害、縄併用梃子、掛け縄運搬

Keywords : Natural disaster, Lever with a rope, Kake-nawa method

1. はじめに

わが国は自然災害が多い国である。倒壊した家屋の下から脱出できない人の救助や、道路を塞ぐ障害物の早期の除去が必要となる。重量物を緊急に人力で動かす方法としては、「梃子棒で動かす」か、「掛け縄で動かす」という省力運搬法の2つが挙げられよう。広辞苑によると「梃子は重い物を手でこじあげるのに用いる棒。また、そのしかけ」とあるので、仕掛けについての言及は梃子と記述した。掛け縄については、文献1では「掛け縄方式」と呼び、文献2では「ロープを使って引っ張る方法」として挿し絵で紹介されているだけで、梃子ほどは知られていない運搬法と思われる。縄で転がしながら運搬す

る方法なので、掛け縄転がし運搬と理解出来るが、ここでは「掛け縄運搬」と記述した。

「梃子で動かす」について、梃子棒は強力な道具ではあるが、使うための手頃な長さや重さがほぼ決まっておき（通常長さ1.2m、重さ5kg）、50キロや100キロの重量物の移動や運搬には向かず、また倒壊し重なった柱の引き抜きなど積み重なった重たい障害物は梃子棒だけでは引き抜けないように思っていた。縄を掛けて梃子棒で引くことも考えたが梃子棒の長さの制約もありほぼ諦めていたところ、縄文遺跡から用途不明の長さ約2.5mの二股の丸太が出土してY字材と呼ばれていることを新聞記事で知った。二股とは、「もとが一つで、末の二つに分れたもの」と広辞苑にある。造園業界では丸太2本を組んだ道具を二又（2脚）と呼ぶ。3本を組んだ道具は三又（3脚）で、根回しをした土付きの根を

¹ 富山大学名誉教授（元教育学部技術教育担当）

丸く梱包した大きな庭木や石灯籠の部品を吊ったり運んだり用いる。稼働範囲を広くとりたい時には一本柱「ぼうず」を用いるが倒れないように頂端を支えるための「とら縄」2本が必要である(文献2)。

出土した二股の丸太を逆さに立てて曳き縄を頂端に掛ければ「とら縄」を掛けなくても一本で立てられる道具になると考えた。股の無い丸太を立てると360度あらゆる方向に倒れ易いが、二股の丸太には2方向にしか倒れないという利点がある。以前からの疑問は、直径1mを超す三内丸山遺跡(文献3)の堀立柱、出雲大社の心柱(文献4)の立ち上げ法で、何か「起こし柱」的な物を用いたのではないかと考えていた。そうしないと曳き縄の牽引方向(ベクトル)を上向きに変えられず、立ち上げは難しかったのではないかと考え、起こし柱と巨大な丸太の図を描いて検討してみた。

この用途の柱を便宜上「起こし柱」と記述しているが、起こし柱は曳く方向を上向きにするだけではなく、梃子の役目も有ったと思えた。そこで「縄を併用する梃子」について実験を行なったら、思いがけなく大きな省力効果が得られた。ただし普通の梃子では梃子棒の中に梃子の3点の支点・力点・作用点があるが、「縄を併用する梃子」では、作用点が梃子棒の中に存在しない。実験で作用点の位置が確かめられたと考え、その力学についても考察した。

「掛け縄運搬」は、横長で転がせる形の重量物(最も転がし易いのは円柱形)であれば縄を2本両端の外周に掛け、共に下縄・上縄で折り返し、下縄を固定し上縄を曳いて重量物を転がせば省力で方向も変えながら移動出来る運搬技術である。動滑車の原理と梃子の原理を併せた省力運搬技術で、しかも安全に運搬できる技術である。その力学についても考察した。

II. 材料及び方法

用意した材料

二股の枝を利用する自作梃子棒:

長さ25、50、80cmの二股の木の枝

木工用丸棒: 直径1.5cm、長さ90cm、重さ80g

縄: 細紐、タコ糸、麻縄(6本縫り直径6mm)

傾斜路: 長さ:幅:厚さ=60cm:35cm:0.9cm ベニア板

3枚を蝶番で繋いだ角度調節式傾斜路

傾斜角の設定用具: 10度刻みで10~50度

までの角度を持つ手製三角定規(厚さ12mm、斜辺約34cm)5枚

傾斜角確認用傾斜計: クリノメーター(製作所、型番無し)

秤類: ばね式手秤(ばね秤)と上皿さおばかり

ばね秤、秤量200g~500g 最小目盛り5g

ばね秤、秤量800g~2kg 最小目盛り20g

(製作所: TOKYO SK 鴨下製、型番無し)

上皿さおばかり、秤量0~5kg、最小目盛り2g

(製作所: IIZIMA SCALE)

家庭用体重計(製作所: タニタ、型番無し)

荷重: ダイビング用の重り2個 1kg、2kg

米袋 15kg

下げ振り(100g) + 雑多な重り = 計 360g

円柱ブロック 3.5kg 4個

四角柱煉瓦 3.2kg 1個

丸太直径: 長さ: 重さ = 9cm:48cm:3.2kg

実験法

1. 縄を併用する梃子に関する実験法

1) 巨大な丸太を引き起こす時は、起こし柱と曳き縄を使って、上向きに引き起こすのが最も簡単な方法と思われたので、描画して考えてみた。

2) 起こし柱が梃子棒としての機能をもつかどうかを調べた。曳き縄の先端に1kgの重りを結び、梃子棒を重り側に傾けて頂端に曳き縄を掛けて、梃子棒の引き起こしに要する力をばね秤で測定した。

3) 上記の実験で得られた大きな省力効果は、梃子による省力効果と思われたので、確かめの実験を行なった。省力効果の計算値と実測値をグラフで比べ、一致すれば梃子が働いたことになると考えた。長さ90cm、重さ80gの梃子棒と、下げ振り(下方が尖った小さな重り)を用いて、支点から水平に10cm離れた位置から20cm刻みで90cmまで5点の交点(本当の作用点と考えられる点)に於ける梃子棒を支える(引き起こす)力をばね秤で実測し、計算値の比例グラフと比較し、グラフが一致すれば一連の省力効果が梃子の原理によって起きていると結論できると思い実験した。

2. 掛け縄運搬に関する実験法

掛け縄は転がし易い円柱に近い形状の荷物の左右両端外周に基本的には1本ずつ縄を掛け、運ぶ方向の杭や立木などに荷物の下を通した縄(下縄)を固定し、上に掛けた縄(上縄)を曳く力で荷物を回転させて平坦路あるいは傾斜路や少々の凹凸を越え

て、運べる運搬法である。

1) 水平路での掛け縄運搬は、重量物が回転しながら動き始めれば動滑車と梃子の原理で省力効果ほぼ100%が期待できる。傾斜した道路を登る時は省力効果は減少する。水平路で得られる省力効果の半分は荷物を回転させる上縄の力による梃子の原理によって発生すると考えられるので、回転体を転がす時の梃子の効果の力学を明らかにする目的で図を描き考察した。

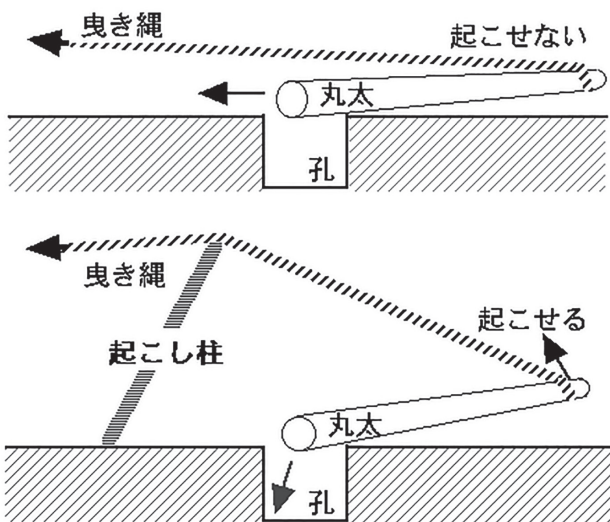
2) 掛け縄運搬の省力効果の実際を知るため、ベニア板の傾斜路を用いて10度刻み5段階で50度までの傾斜角で円柱ブロックを引き上げてみた。50度の傾斜路での実験の様子と、ばね秤で測定した必要牽引力のグラフを示した。

3) 掛け縄運搬では上縄が別の障害物や段差に触れると力を削がれる。幸い掛け縄運搬で重い丸太を段丘上に運ぶ行事があり、更に上縄が障害物(稜線)を避けねばならない機会があったので、2.5mのY字材のレプリカを用いてもらい、掛け縄運搬と段差の稜線を避ける検証実験を行なって貰った。

III. 実験結果及び考察

1、縄を併用する梃子に関する実験結果と考察

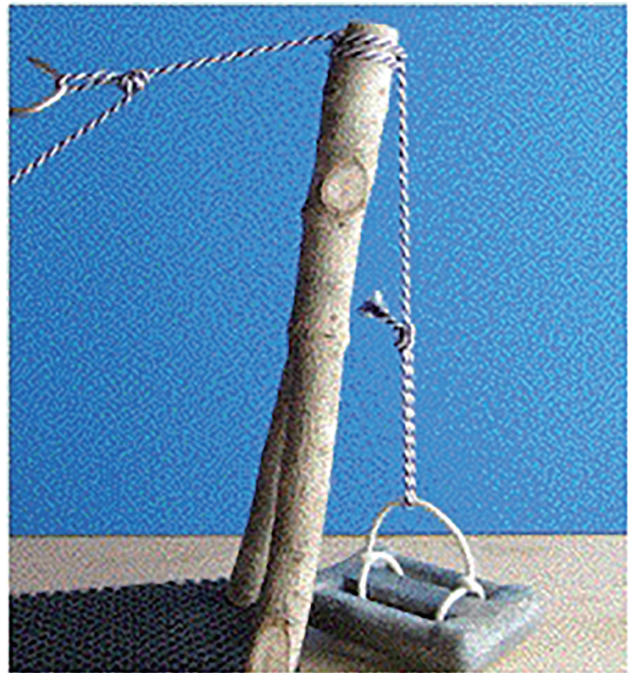
1) 第1図に示したように、起こし柱によって、曳き縄の力の方向(ベクトル)が上向きになるため、立ち上げ易くなると考えられた。また起こし柱を曳き起こす曳き縄の力が起こし柱の頂端に掛かるため更に梃子の原理も働く可能性があると考えられた。



第1図 起こし柱で巨大丸太を起こす方法

第1図から見て、曳き縄を「起こし柱」で支えると梃子も働き起こし易くなると考えた。

2) 縄を併用する梃子の省力効果をより詳しく調べるために、梃子棒頂端から下げた吊り縄に1kgの重りを掛け、梃子棒を大きく或いは小さく傾けて梃子棒を引き起こして見た。その際起こす(支える)力が最も小さくて済んだのは、梃子棒に重りを最も近づけてから梃子棒を引き起こして吊上げた時であった。必要な力をばね秤で測定したところ100gほどであった。90%という驚くべき省力効果が得られたことになった。角度や距離や持ち上がった高さは調べなかった。第2図の写真は実験の様子を示す写真である。この実験で最大の省力効果が得られた時、梃子棒の長さ(支点・力点間距離)が25cmなので、支点・作用点間距離が2.5cmほどであったとすればほぼ1/10の力(100g)で吊り荷(1kg)が引き上げられたことになり計算が合う。



第2図 省力効果が高い梃子棒の使い方

「縄を併用する梃子棒で重量物を持ち上げる」というこの方法は、支点・力点間距離を大幅に伸ばす事ができる優れた方法と思えた。

3) 梃子棒のこの使い方では力点と作用点と同じ部位にあることになる。高い省力効果が得られたので梃子の原理が働いていると考えられるので、力点と重なる作用点は見かけの作用点と考え、「本当の

作用点は梶子棒頂端の力点を通る鉛直線と、梶子棒基部（支点）から伸ばした水平線の交点である」と仮説を立て、その実証のため計算値と実測値を比較する実験を行なった。

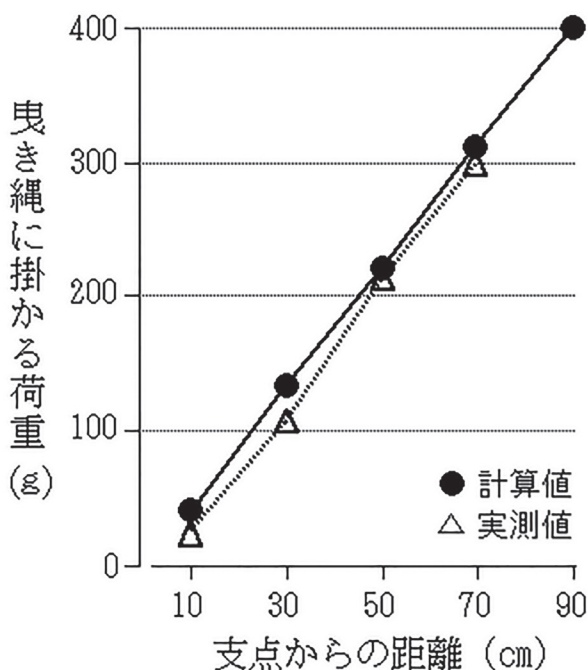
計算値は比例式で算出した。水平に傾けた梶子棒の頂端部（90cm）が支点からの水平線上の距離90cm（本当の作用点）と重なった時、頂端に掛かる荷重は400g=（梶子棒の重量の半分40g）+（吊り荷の全重量360g）である。支点からの距離30cmの場合をあげると、支点からの距離30cmに下げ振りの先端が一致した時、頂端を支える荷重を χ として、唯一荷重が分っている水平距離90cmの時の荷重400gを基準とし比例式（内項の積は外項の積に等しい）に当てはめ χ を算出した。

$$90 : 400 = 30 : \chi$$

$$400 \times 30 = 90 \chi$$

$$\chi = 12000 \div 90 = 133$$

梶子棒を水平に保ちながら下げ振りを作用点90cmに合わせることが出来なかったため、作用点90cmの実測値は得られなかった（第3図）。



第3図 梶子棒曳き起こしに要する荷重

計算値と実測値のグラフにずれはあるが、比例直線の相似から梶子棒の一連の省力効果は梶子の原理によると考えることとした。縄を併用する梶子においては、一見力点と重なる作用点は見かけの作用点であり、「本当の作用点は、吊り縄と吊り荷全体の

重心を通る鉛直線と梶子棒基部の支点からの水平線の交点である」と言えよう。

実際に縄を併用する長大な梶子柱（長大な梶子棒は梶子柱と記述する）を使うためには、角材を組み合わせた二又か、普通の脚立や梯子も一段ずつならば100kgの荷重に耐えられる仕様なので梶子柱にできると思われる。

なお梶子柱は垂直に立てれば基部（支点）が梶子柱と吊り荷のほぼ全重量を支えるので、頂端が傾かぬように支える力は非常に僅かで済む。吊り荷を吊って垂直に近い角度で立っている梶子柱を水平に向かって傾けると、梶子柱基部が支えていた梶子柱自身の重量の半分未満と吊り荷の全重量の幾分かが梶子柱頂端に戻って来ると考えられる。したがって頂端に掛かる重量が増え、支える力を増やさなければならなくなる。さもなければ吊り荷側や、思わぬ方向に梶子柱が倒れることも有り得る。重い梶子柱の使用中は周辺の人や物の安全に配慮する必要がある。

特に注意が必要なのは、吊り荷を吊上げた時の梶子柱の角度より下方に梶子柱を傾けると、梶子柱が分担していた重量が、前述のように梶子柱頂端に戻って来て、「予測していない大きな力が梶子柱頂端に掛かり、対応できない可能性がある」ことである。

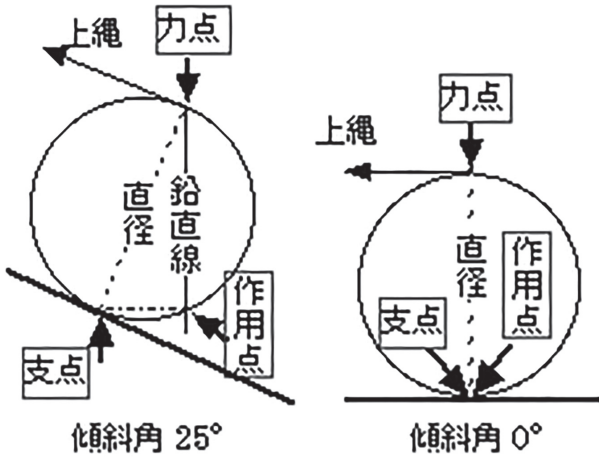
2. 掛け縄運搬に関する実験結果と考察

掛け縄は丸太であれば左右2か所に縄が掛かっているため転がす方向も制御し易い。さらに上縄と重量物の間に梶子柱を立てて曳けば、外部からの梶子の省力効果も期待できるが、ここでは掛け縄運搬の利点と注意すべき点について実用を考え実験し考察した。

掛け縄運搬は力学的に見れば動滑車の原理（A）と梶子の原理（B）の二つの合計100%の省力効果（摩擦や慣性の法則は無視）が水平路では得られる。掛け縄運搬では動滑車の原理が運搬路の傾斜角に関係なく働くので省力効果A = 50%が常に得られる。

上縄で回転体を転がす時、梶子に依る省力効果B（最大時50%）も生じる。但し省力効果Bは傾斜角の増加に伴い減少し続け最終的には0%となり、省力効果A = 50%だけが残る事を第4図で説明した。梶子による省力効果は支点～作用点間距離が短いほど高い。回転体の接地点が支点となり、支点・力点間距離は回転体の直径のため不変であり、支点・作用点（力点からの鉛直線と支点からの水平線との交

点と思われる)間の距離が傾斜角の増大のため増加し梘子の効果は減衰する。



第4図 回転体に起きる梘子効果

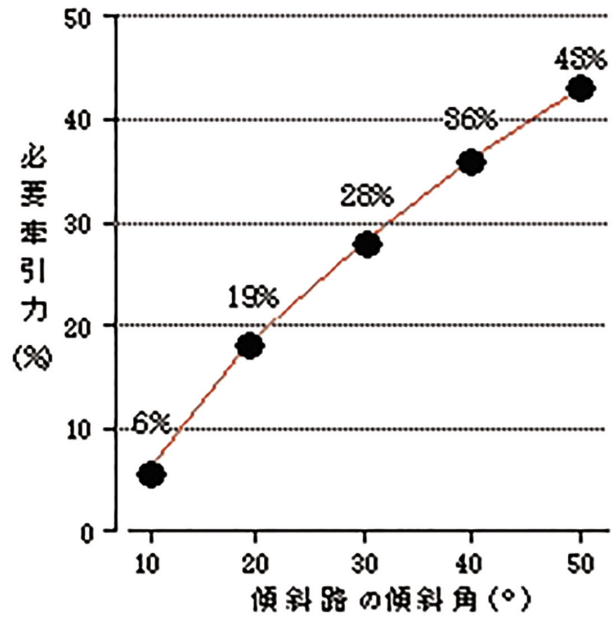
傾斜角0度では支点～作用点間の距離は0で、得られる竿の省力効果B (50%) の全ての梘子効果が得られ、動滑車の省力効果A (50%) との合計100%の省力効果で軽く転がせる。傾斜角25度では支点～作用点間距離が増加するため省力効果は減少する。傾斜角10度の傾斜路で全重量3.5kgの円柱ブロックで掛け縄運搬の実験を行なったところ、重量の約7%の0.22kgの力で運び上げられ、約93%の省力効果が得られた。掛け縄運搬の全てを知るため傾斜角50度の実験を行ないその様子を第5図に示し、結果を説明した。



第5図 傾斜角50°での掛け縄運搬の様子

傾斜角50度の傾斜路で全重量3.5kgの円柱ブロックで掛け縄運搬の実験を行なったところ1.5kgの力で運び上げられた。57%の省力効果である。

次ぎに掛け縄運搬による模擬実験を10度刻み5段階の傾斜角で行ない結果を第6図に示した。



第6図 傾斜角10～50度での必要牽引力

グラフは全荷重の何%の力で引き上げられたかを示す。掛け縄運搬の模擬実験では急勾配でも持ち上げ可能であるが、実際には足場の確保や土手や途中の出っ張りに上縄がすれる恐れがあり、その都度上縄の擦れを避けねばならない。その時は適度な大きさのY字材あるいは二又を適切な位置に立てて稜線などへの接触を回避せねばならない(第7図)。



第7図 上縄の擦れを回避するためのY字材

富山県小矢部市桜町の縄文パークにおける検証実験の様子である。(2020年8月9日、参加者: 会員11名と観客)。下段に設置されていた丸太のシーソーを、掛け縄運搬で一段上に運び上げた。その際

掛け縄運搬による安全性と省力効果の体験ができた。また稜線越えの上縄の擦れ回避に会員手作りのY字材のレプリカで上縄を持ち上げ稜線への接触を避けた。「持ち上げない時に比べ軽く曳きあげられた気がする」との感想を副会長が述べてくれた。

災害時に重量物をほぼ水平方向に移動したい時は、縄の代わりに縄梯子を左右から廻し掛けして防護柵があればその支柱の根元に一端を固定して他端を曳き、引きずって動かす方法があるかもしれない。動き始めれば道路の最大摩擦力より小さな動摩擦力になるので、まず梃子棒で動かせば良い。掛け縄運搬は停まらずに連続して運搬できるからである。

IV. 終わりに

この実験結果から縄を併用する梃子を用いれば、災害時の重量のある障害物除去に役立つと思われる。梃子棒（柱）として二又用の4～5cm角の材木は勿論、脚立や梯子も梃子柱として用いる事ができよう。縄は直径6mm長さ10mほどのクレモナロープで切り売り1メートル税込み70円などもあるので（2022年7月調べ）、適量を備蓄しておき、縄の結び方や縄を併用する梃子への縄の掛け方などの使い方の練習に使用して慣れておけば良いと思われる。

またこの縄を併用する梃子による重量物運搬法は一般家庭の10キロ程度の米袋などちょっとした重量物の運搬にも応用できる。三点杖とか写真の三脚（華奢なものでなければまず折れないが、プラスチックのパーツは劣化して弱くなっているかもしれない）とか1メートル程度の長さの棒でも脚立でも安定的に傾けられて梃子棒に出来そうな物があれば試すのも良い。曳き縄として布ベルトや適当な紐などを曳き縄代わりにして荷物に掛け、吊る準備をしてから、梃子棒を荷物に立てかけて縄代わりのもを梃子棒頂端にピンと張ってグルグル巻きつけて握って引き起こしてもよし、結んで紐を引いて起こしてもよしである。荷物の半分か1/3以下の力で梃子棒が起き上がってくる筈である。

謝 辞

小矢部市桜町「石斧の会」会員と会長の山本護氏に感謝の意を表す。この研究のヒントとなり、一区切りの成果が得られた原動力は、桜町縄文遺跡から出土した巨大なY字材の存在であり、会の活動を

通して新聞などで存在を発信し、また掛け縄運搬の検証にまで協力頂いた石斧の会のお蔭である。

参考文献

- 1) 農文協（2017）：小さい林業で稼ぐコツ、農文協編、116-117.
- 2) 日本造園組合連合会（1949）：人力による運搬組み立て工法の手引き、p.9、(2022/6/30 閲覧)
https://jflc.or.jp/media/niwa_navi/20120330_1246_33_0706.pdf
- 3) 三内丸山遺跡について（2022/7/7 閲覧）、
<https://sannaimaruyama.pref.aomori.jp/about/iseki>
- 4) 出雲大社の謎 古代に存在した巨大神殿、(2022/6/30 閲覧)、
<https://www.kokugakuin.ac.jp/article/53888>

受付年月日（2022/5/18）

受理年月日（2022/7/28）