

新訂版

構

造

学

再

入

門

デザイナーも構造に強くなろう

海野哲夫 著

胃袋の話、公平の女神、  
イソップ物語、  
お歳暮のやりとり…  
構造学に関係  
アリアリなんです！

思わず  
ニヤリ。



# はじめに

かつて私は構造屋であった。というよりも、むしろ構造屋にさせられてしまった、といった方が正しいのかも知れない。

私は大学で建築を専攻していた。設計実習の時間、課題は高級喫茶店であった。

クラスの友人たちは、いずれも凝ったデザインを試み、当時はやった「純喫茶店」なるものの設計を展開していた。

担当のS教授はインテリアデザイン関係の雑誌や、照明器具のカタログ集をわれわれに紹介し、はては学校の帰途、札幌市内の音楽喫茶店などに連れて行ってくださりもした。

そのむかしの音楽喫茶店では、今の若い人には想像もできないかも知れないが、店内にブラームスかハイドンの曲が流れ、係の女性従業員は、牧神さながらの無表情な顔で立っていたものである。

私はいったい何をしていたのか。

私は海水浴場に臨むプロムナードに、白ペンキで塗りたてたバンガロー風の軽食堂——そんなものをイメージしてエスキスに腐心していたのである。コーヒーよりもコーラを主眼にして、焼きそばかホットドッグのひとつも出そうかという喫茶店である。

太陽の季節とか湘南族が流行する以前の話であるが、ジュークボックスのある喫茶店も面白いと言って、S教授は大目に見てくださった。

ところが私は、プロムナードに面するガラス窓の全部を、ステンドグラスにしてしまったのである。キリスト教会にある丸窓の例のしろものである。

パースの段階になって、私はステンドグラスのひとつこまひとつを、たんねんに絵具で塗りつぶしていった。製図板のかたわらに立ったS教授は、私の塗りつぶし作業をじっとご覧になっていたが、とうとう何もおっしゃらなかった。たぶんあきれてしまったのであろう。

放課後に呼び出された。恐る恐るS教授のお部屋にうかがうと、机の上に2枚の写真が載っている。

「君、この2枚のうち、どちらが好ましいと思うかね。」

見ると1枚はコルビュジエの例のマルセイユのアパート、他の1枚はよく覚えていないが、何でもバロック風の宮殿か何かであった。

私はちゅうちょなく宮殿の方を選んだ。金ピカのそのゴテゴテした装飾が、何とも気に入ったのである。

S教授は私の顔と写真を等分に見くらべていたが、やおらため息まじりにおっしゃったものである。

「君のセンスはどうやら18世紀にとどまっている。とにかく200年はずれている。計画の方はあきらめて、**構造でも**やったらどうかね。」

これには参った。

そもそも私は数学に弱かった。弱かったくせに工学部を志望してしまった。しかし考えた末、同じ工学部でも建築科ならば、**図面を引いているだけで、数学はあまり使うまいと判断して建築を選んだのであった。**それが**センスなし、構造でもやれ、**というのであるからガックリせざるを得なかった。

そのとき以後、私は構造に転向し、サラリーマン生活の半分近くを構造屋として過ごしてしまった。

そのことを私は後悔していない。S教授もすでに物故されている。

このような仕儀であるから、このつたない小著において、私は無味乾燥な数字を並べたり、自分でもよく理解できなかった難解な数式を披露して、読者諸兄を悩ませる意思は毛頭ないのである。

\*

この小著を書いたとき、私はデザイナーの皆さんに読んでいただくと考えていた。その想いは今でも変わらない。

由来、デザイナーの皆さんと構造屋とは、あまり仲がよろしいとは言えない。仲が悪いというよりも、お互いに理解し得ず、とにかく敬して遠ざけている、といったあんばいである。構造屋に言わせれば、デザイナーなどいつもデザインポリシーがどうだ、コンセプトがどうしたと騒ぎ回るばかりで危険きわまりない、恐ろしく不経済な建物ばかり設計するじゃないか。少しは構造でも勉強したらどうだ——たぶんそう思っているのに違いない。

一方、デザイナーに言わせれば、構造屋など、いつもこれじゃだめだ、これじゃもたないと言うだけで、自分の案ひとつ示そうとしないじゃないか。

要するに対話が不足なのである。

だから私は、構造屋が何を考えているのか、何を思い悩んでいるのか、それをデザイナーの皆さんにわかっていたいただきたい——そんな気持ちで書いたのがこの小著である。

\*

そもそも構造屋が何ゆえにデザイナーの皆さんと理解し合えないのか、それは建築構造学自身が、今もってあまり明快の境地に達していない、ということも原因のひとつとして考えられる。

構造力学の歴史は、一説によれば2000年むかしのアルキメデスから始まると言われ、また他の一説ではガリレオに始まるとも言われている。

しかしそこまでさかのほらなくとも、現在用いられている構造力学の体系は、フランス革命のあたりから始まると見てよいのではないか。

1795年、革命後のフランスに工科大学が設立され、ポアソン、ナビール、コーシー、クラペロンなど、今日教科書の上では公式や理論の名称になっている連中が次々と卒業している。オイラー、クーロン、フックなどもこの時代前後の人である。

19世紀中葉にはリッターとクルマンがトラスの解法を考え、モールとカスチリアーノが力と変形の関係を理論付けし、マックスウェルが床版の解法を発表して、現在われわれが使う力学の教科書は完成したのである。

明治時代の初めの頃の話で、せいぜい120年の歴史しかない。

だから未開拓の分野は依然として残っているし、明快ならざる部分もまだまだ多い。

極端に言って、こと構造に関しては、一つひとつの設計が今もってテストケースなのである。

構造屋はこの事実をひたかくしにかくしている。

「何だ、そんなことすらまだわかっていないのか。構造屋はいったい何をしているんだ。」

こんなことを言われたくないために、構造屋はデザイナーの皆さんとの対話をこぼんでいる。

それは手品師が、タネや仕掛けを観衆に教えないのと同じである。教えれば、何だ、そういうことかと、バカにされるに決まっている。ひいてはメシの食いあげにもなりかねない。だから手品師は、舞台の上ではいつも無口である。

\*

繰り返して言えば、私はこの小著を、デザイナーの皆さんに読んでいただきたいと考えている。

これは、この小著が発行された40年のむかしからこのかた、変わらぬ願いである。

別に対話を試みようとするわけではない。一方的なおしゃべ

りである。

そのおしゃべりも、手品のタネを明かすような明かさないうな、まことに切れ味の悪いものである。

あまりタネを明かして楽屋裏を見せてしまうと、構造屋仲間から村八分にされてしまう。

とにかくお読みいただいて、なるほど、構造と尝试してみたところでわからないことがまだまだ多い、これじゃ構造屋の連中も結構苦勞が多いわけだ——そのように、ごく素直にお読みいただければ、この小著の目的は十分に達せられるのである。

再入門という題名は、デザイナーの皆さんにもう一度構造の勉強をして貰いたいという気持ちもあるが、本当のことを言えば、私自身が構造学に再入門しようと決心したのである。

# 目次

はじめに ..... III

## I コウゾウヤ——その意見と立場 ..... 1

- ピラミッドを作るわけじゃない——経済性 1
- くわえ煙草がお好き——工学的判断 7
- 円周率は割り切れない——統計学 13
- ご飯の炊き方——理論と経験 19
- 黙ってさせばピタリとあたる——雑学 25
- 評論家に徹するだけ——デザイナーとの協調 31
- 暮の話——構造計画 37
- 形式は守るべし——構造計算書 43
- 明記せざる部分——建築基準法 49
- コラム① 手計算とコンピューターによる解析 56

## II すべての約束ごと——荷重・外力 ..... 57

- 尾てい骨は骨組みか——構造骨組み 57
- 連結と連続は違う——架構形式 64
- レモンの味——固定荷重 71
- トイレは一人で入るもの——積載荷重 77
- 電車と乗客——地震力 83
- ピースとハイライト——土圧 89
- 鉄と綿とはどちらが重い——応力度 96
- 胃袋の話——許容応力度 103
- イソップ物語——剛比 109
- コラム② RC 建物の柱と壁の分担率 116

## III 要するに断面を求めること——構造計算 ..... 117

- 公平の女神——分担率 117
- お歳暮のやりとり——固定モーメント法 124
- トラス解く阿呆に解かぬ阿呆——トラス 130
- 強い男の泣きどころ——座屈 137
- 恋の筋書き——たわみ 143
- 助け合い運動——RC 部材 150
- ピンに徹せよ——木構造 157
- 計算の仕様がなない——木造住宅 164
- ごく普通のありふれた——鉄骨構造 171
- かぬち師におまかせ——溶接 179
- コラム③ 木造建築の進化 168
- コラム④ 鉄骨の接合部の考え方 178
- コラム⑤ 溶接検査の変遷 188

## IV わかったようでわからぬもの——構造計画 ..... 189

- 宮柱太敷く建て——柱間隔 189
- 因果応報——鋼材の活用 195
- 貧しい思い出——鋼材のくうま味> 201
- 燃えない木造——軽量鉄骨 207
- 柱割りがすべて——鉄筋コンクリート構造 213
- 浮いたの切れたの沈んだの——伸縮継手 221
- 耐震壁はむやみに作るな——耐震壁 228
- くたばれローコスト——耐用年限 234
- 〈骨のある男〉——鉄骨鉄筋コンクリート造 239
- 窓の話——<sup>まど</sup>間戸 245
- 壁に穴をあける——壁式構造 251
- 代用品——耐力壁 256
- 絶対はあり得ない——安全神話 265
- コラム⑥ 軽量鉄骨建築の現在 209

おわりに ..... 271

## ●連結と連続は違う——架構形式

紀元前5世紀ごろの古代ギリシアに、ゼノンと称する論客がいた。彼は当時の、いわゆる詭弁派の学者であり、詭弁逆説を弄し、もって人を煙にまくことを商売としていた。

その彼の説に、有名なアキレスと亀の話がある。

「陸上競技選手のアキレスが、亀に追いつこうとして走っているとき、アキレスが亀の出発点に到着してみると、亀は少しばかり前へ進んでいる。そこでアキレスがさらにその位置まで行き着いてみると、亀はまたしても少しばかり先へ進んでいる。かくしてアキレスは、永久に亀を追い越すことはできない。」

これは有名な話で、これに似た話は、その他にも多く作られている。

われわれはこれを聞いて笑止千万とばかり一笑に付すことはやさしいが、当時のギリシアの賢人たちは、この話の中に得体の知れぬお化けの存在に気付き、声もなく顔を見合わせた訳である。

そのお化けとは、無限という概念である。

無限というものを考えると、気が狂いそうになる。たとえばアキレスの走る状態は一種の運動である。

運動は、ある点が一直線上を移動する状態である。この一直線は無数の点が集まって構成されている。この一直線を、任意のところで区切らなければ運動は論ぜられない。そこで直線を切る話になっていく。

昔、中学校の幾何の時間に、公理などというものを習った。

「点とは面積を持たず、しかも位置を決定する。直線は点の集まりである。」

どんな表現かはすっかり忘れてしまったが、要するにしごく当た

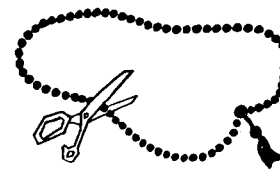
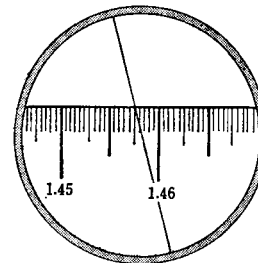
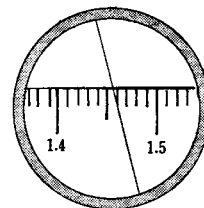
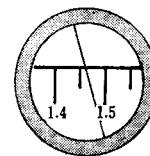
り前の話を、何かもったいぶって定義していたものと覚えている。

そこで点の集まりである直線を切る話なのであるが、仮に1.4と1.5の間で区切るとしよう。1.4と1.5の間には無数、無限の点がぎっしりつまっているわけであるから、これをまたどこかで区切らなければならない。これを1.45と1.46の間とする。ところがこれでもまだ不十分なのであって、1.45と1.46の間には、依然として0.01の幅があり、これはこれで無限の点が同様にぎっしりつまっている。再び気を取りなおして、今度は更に一步を進め、1.457と1.458の間で切ることにしても、問題はなお解決されない。かくして直線は永久に区分できないことになる。

同じ直線でもたとえばお坊さんの数珠のように、有限の点が<連結>

されているものは、切断することが容易である。はさみを持ってきて糸を切れればよい。108個の玉は右に54、左に54と切り離され、問題は一挙に解決する。

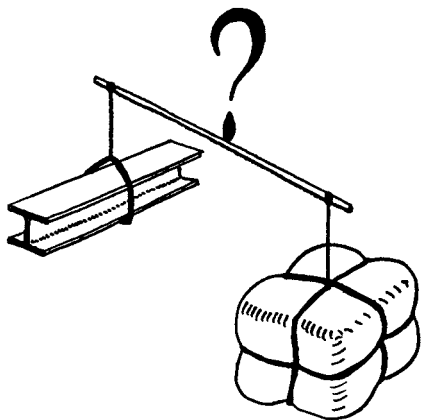
<連結>ではない<連続>の直線を切る問題は、後にコーシーなどによって終止符が打たれ、これはこれでまた興味ある物語になる



## ●鉄と綿とはどちらが重い——応力度

小学生の子供に、鉄と綿とはどちらが重いと質問する。すると子供は鉄の方が重いと答えるはずである。しかしどうもこの答は正しいとは言えない。感覚的には鉄の方が重いと考える。

しかし鉄 1kg と綿 2kg とでは、明らかに綿の方が重い。同様に鉄 1kg と綿 1kg では同じ重さとなる。

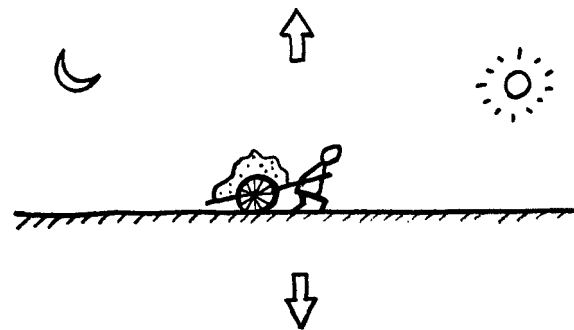


だから標題の質問は正しくない。なぜかと言えば、それは<単位>がないからである。

たとえば  $1\text{m}^3$  の鉄と同じ  $1\text{m}^3$  の綿では、どちらが重いかと言えば、これは明らかに鉄の方が重い。鉄は約  $80\text{kN/m}^3$  ある。綿の方は  $1\text{m}^3$  の中にどれだけ詰めこむかによって値は変わって来るが、まず  $1\text{kN/m}^3$  より小さいことは間違いない。

われわれ構造屋は単位と符号を尊重する。

たとえば構造力学で扱う<力>にも単位と符号が付いてまわる。単位は N であり、kN であり、時には  $\text{N/m}^2$ 、 $\text{N/mm}^2$ 、あるいは等分布荷重、等変分布荷重の  $\text{kN/m}$ 、 $\text{N/mm}$  などの単位が付される。



符号も大切である。

荷車をひいている。荷車の重さが<力>であり、荷車の中心が<力の作用点>である。ところがひいている人が、東を向いているか西を向いているかによって、荷車は異なった方向へ動いていく。西も東もわからないのでは実際たよりない話になるので、われわれは便宜上、東向きを (+) とし、西は西方浄土でお釈迦さんのいるところから (-) と定めている。

ついでに言えば、上向きの力は元気があるので (+)、下向きはがっくりうつむいて (-) なのである。

力のもうひとつの性質は、力の通る線（作用線）の上ならば、力の位置を動かしても、その効果は変わらないということである。わかりやすく言えば、丸木橋に体重 60kg の人が載れば 600N の力が丸木橋にかかったことになる。そこでこの人が、急に気が変わって自殺を試み、それに成功した場合も、丸木橋に働く力はやっぱり同じ 600N なのである（次ページ図）。

力の作用点、大きさと方向——これを三要素などと称しているが、われわれはこれをベクトル、すなわち矢印で表現し、ベクトルである以上、力の分解、合成を可能ならしめている。



ある日突然暴飲暴食をすれば、たちまち急性胃腸カタルになって胃の粘膜は冒され、いわゆるハラピリになって、トイレの厄介になる。ここで摂生をしておかゆに梅干でがまんをすれば、たいていのハラピリはこれで治ってしまう。ところが、ハラピリにはならないが、ハラピリ一歩手前までの暴飲暴食を連日連夜続けていくと、慢性胃カタルに始まって胃潰瘍、十二指腸潰瘍を経て、最後には胃がんにもなり兼ねない。

つまり許容限界一杯まで詰めこまなくとも、長時間にわたる大食は結局胃袋をまいらせる仕儀に至るのである。つまり胃袋が疲れてしまうのである。

もうひとつの状態として、もともと胃の弱い人がある。生まれつき胃が下がっているか、あるいは下がりやすい人が、少々不摂生を続けると、さして大食いもしなかったわりに、胃下垂、胃アトニーとなって、年中ゲップを吐き散らすようになる。いわゆる胃弱と称せられる手合いで、頭痛・目まい・食欲不振、しだいにやせ細って、ついには神経衰弱のごとき状態に立ち至る。

\*

右ページの図をご覧ください。

上図 (i) は先刻の餅の好きな大井君 32 歳の胃袋の記録である。横軸に胃袋の伸びが示してあり、縦軸は餅の数である。大井君は元日に 75 個を食べた。一晩寝て胃袋は空になり、伸びは完全に零に戻って、2 日目 76 個、3 日目 77 個をやらかしても腹をこわす訳もなく、4 日目の朝には再度胃袋の伸びは零に戻っている。

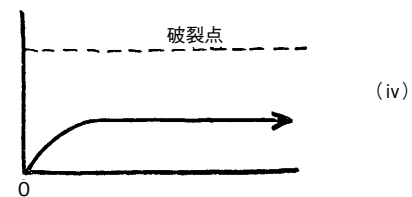
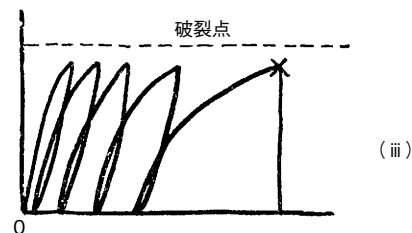
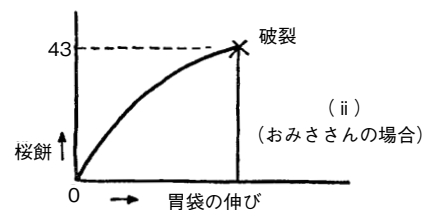
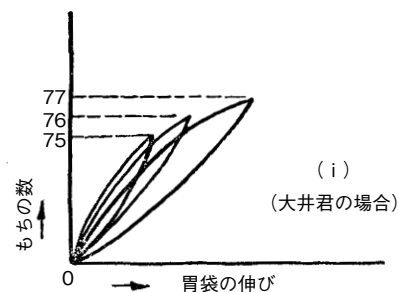
(ii) は死んだおみさんの記録である。桜餅 43 個で胃袋破裂である。そのとき彼女は帯をゆるめたわけであるから、胃の伸びは破裂時に相当なものであったに違いない。しかし彼女の破裂点、終

局強度は、大井君のそれよりも低かった。

次の図の (iii) は年中大食のため、ついに潰瘍になった人の記録である。彼の破裂点は結構高く、破裂点をこえて大食いもしないが、どうせロクな運動もせずゴロゴロしているので、一晩たっても胃の中は空にならず、胃袋は若干伸びたままになっている。これを毎日繰り返すため、伸びはどんどん累積して、そのうち破裂点より低い食物量でもダウンしてしまうのである。

(iv) は胃下垂の場合である。破裂点よりうんと低い食事量しかとらないのに、胃袋の伸びは構わず進行して、胃拡張・胃アトニーとなるわけである。

大井君とおみさんは短期間の勝負であり、胃潰瘍・胃下垂は長



変形もあるし、地盤沈下による基礎の変形もある。

またラーメンのなかに組みこまれた壁であれば、梁の変形によって生ずる、いわゆるラーメン変形も加わることになる。

壁の変形は以上四つの合計値であり、このうち、地盤の変形などは、とうていわからない。

いろいろいじくっているうちに、分担率の計算などどうでもよくなり、えい、面倒とばかりに、この壁には30%、あちらの壁には40%と、天なりに分担率を定めてしまう(コラム②参照)。

自信があるなら、それでもよいのである。

\*

全部材の同時破壊——一蓮托生を実現させるには、丈夫なところを作らなければよいと言ったが、これをもう少し具体的に説明してみよう。

たとえば右ページの図(i)のA梁は、鉛直荷重によって曲げモーメントが集中し、曲げモーメント図はおかしなことになる。

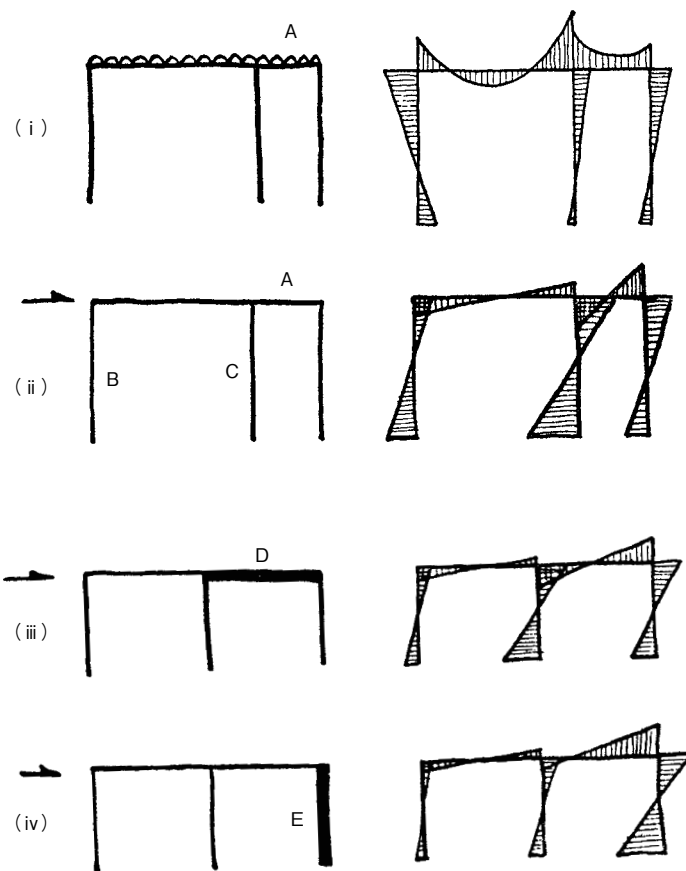
また同様の架構に(ii)のように水平力がかかると、B柱よりはC柱の方が余計に曲がりにくいので、ここに水平力が集中し、結果的にはA梁に過大の曲げモーメントおよびせん断力の発生をみるのである。

また、(iii)ではD梁が太いため、スパンが同じでもこの端部に曲げモーメントが集中する。(iv)のようにE柱が太いと、ここにも水平力が集中してうまくいかない。

\*

施行令36条の3の言っている<一様に>とか<釣り合いよく>とかいうのは、要するに上のごとき問題をさしているのである。

だからデザイナーの皆さんにお願いしたいことは、デザインと称



して妙に断面形のチグハグな建物、スパンの不統一な建物を作らないようにしていただきたいことである。

構造屋は常に、バランスに気を遣っている。そして子煩悩ぼんのうでもあ  
る。もしもあなたの事務所の構造屋が、子供への土産みやげと称して、イ

みたいなもの、というわけである。

\*

私が最初に贈った特上級のレミーマルタン、これを固定端モーメント（梁の両端の曲げモーメント）と見る。私と友人の力関係は、ここでは部材の丈夫さ、すなわち剛比ということになる。

下図のA材の固定端モーメントが $12\text{N}\cdot\text{m}$ であれば、B、C、D各材への贈り物は、それぞれ次のようになる（○印内の数値は剛比）。

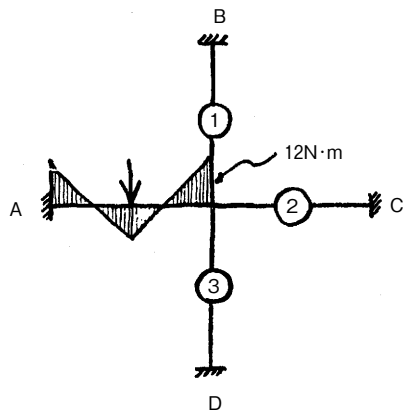
$$\text{B材の端へ} \quad \frac{\textcircled{1}}{\textcircled{1}+\textcircled{2}+\textcircled{3}} \times 12 = 2.0\text{N}\cdot\text{m}$$

$$\text{C材の端へ} \quad \frac{\textcircled{2}}{\textcircled{1}+\textcircled{2}+\textcircled{3}} \times 12 = 4.0\text{N}\cdot\text{m}$$

$$\text{D材の端へ} \quad \frac{\textcircled{3}}{\textcircled{1}+\textcircled{2}+\textcircled{3}} \times 12 = 6.0\text{N}\cdot\text{m}$$

上式で示した剛比による分数は、分割率と称せられる。

さて贈り物をしただけでは話にならぬ。贈りっぱなしでは贈賄にもなりかねない。



ここでもうひとつの約束をする。それは、お返しは贈り物の $1/2$ にするということである。今の例で言うならばB材のA材へのお返しは、 $2.0\text{N}\cdot\text{m}$ の $1/2$ 、すなわち $1.0\text{N}\cdot\text{m}$ となる。し

かもお返しであるから贈り物の場合に比べて（+）（-）の符号は逆になる。

A材は、B、C、D材からお返しをそれぞれ $1\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $2\text{N}\cdot\text{m}$ 、 $3\text{N}\cdot\text{m}$ 、受け取った。これの合計を再びB、C、Dの3材に贈ってやる。もちろん分割率に従うものである。

$$\text{B材へ} \quad \frac{\textcircled{1}}{\textcircled{1}+\textcircled{2}+\textcircled{3}} \times (1+2+3)\text{N}\cdot\text{m} = 1.0\text{N}\cdot\text{m}$$

$$\text{C材へ} \quad \frac{\textcircled{2}}{\textcircled{1}+\textcircled{2}+\textcircled{3}} \times (1+2+3)\text{N}\cdot\text{m} = 2.0\text{N}\cdot\text{m}$$

$$\text{D材へ} \quad \frac{\textcircled{3}}{\textcircled{1}+\textcircled{2}+\textcircled{3}} \times (1+2+3)\text{N}\cdot\text{m} = 3.0\text{N}\cdot\text{m}$$

贈っていただいた各材は、再び $1/2$ をお返しとしてA材に送り届ける。

話はこれでおしまいである。これ以上のやりとりは時間が不経済なので行わない。忙しい現代人は、いつまでもお歳暮のやりとりにかかずり合ってはられない。

A材のB材へのやりとりが終わった後、B材端の収支決算を行う。

最初にもらったもの	$2\text{N}\cdot\text{m}$	}	差引合計 $1.5\text{N}\cdot\text{m}$
最初のお返し	$-1\text{N}\cdot\text{m}$		
二番目にもらったもの	$1\text{N}\cdot\text{m}$		
二番目のお返し	$-0.5\text{N}\cdot\text{m}$		

実際のラーメンの計算とは少し違うかも知れないが、要するに理屈はこうなるのである。

同じようにして私と友人とお歳暮のやりとりは、次のとおりである。