

【論説】

橋の寿命

Life of Bridge

橋梁事業部長
Manager of Bridge Dept.

宮崎昭二
Shoji MIYAZAKI



1. いきさつ

橋の寿命はいったいどの位もつんだろうかということ長い間、心の中に大きなわだかまりになってひっかかっていた。役所に入ってすぐに道路橋の示方書改定の手伝いを仰せつかったが、改定の理由は当時昭和二十年代後半には進駐軍をはじめとする重量車が急に増えたために床版がもたなくなってしまった穴があいた橋がいたるところに出てきたためだと聞かされた。それも古い橋よりも比較的新しい橋に多いということであったが、具体的にどこのどの橋がこわれたかということは先輩の方々もなかなか教えて下さらなかったし、そういうことが、つまり当時の一般的技術水準の不足や社会情勢の拘束によって起こる構造的欠陥であって、必ずしも設計者のミスによる欠陥ではないものであっても欠陥となると真相や原因が判らないように出来ているのが日本の公共事業の通例のようである。これは今も昔も変わらないのだが、そんなこともあってどうして橋が壊れるのか、またどの位もつものなのかという割り切れない疑問が残った。

首都高速道路公団の発足とほぼ同時に公団に入って設計計画に従事するようになった時に、都市高速道路の構造物は一体どの位の寿命を考えて設計するのかという疑問が今度は最も基本的な問題としてよこたわってきた。というのは、この膨大な構造物に寿命がきた時にどうやって架け替えたらいのか当時としては想像も出来ない状態であったし、一方では首都高速の発足當時すでに銀座の数寄屋橋を取り壊して高架道路を造った例もあって、いざれは都市高速も耐用年数がされるか、時代遅れになつて架け替える時期が来るということを肌で感じていたからである。

その頃の首都公団の設計課には現在本四公団の副総裁をしておられる松崎さんを始めとして何人かの副参考官いて、実務の設計をこなすかたわらで公団の設計基準作成に励んでいた。当然のこととして耐用年数をどう考えるかは基準作成の根本的な命題であった。私は耐震設計基準の担当をしていたが、その時の委員会の考え方は首都高速道路は一般道路の補助として高速機能を特色としているのだから非常な震災時に機能している必要はない。ただ都市高速道路の大半は非常時に緊急車を通すべき今までいう啓開道路の上に造られているので高速道路上

の交通は通さなくてもよいが、構造物が崩壊して下の道路の交通を阻害するような事態をおこしてはならないというものであった。この考え方沿って私は当時最も耐久性があると考えられていたコンクリートを材料として構造としてはなるべく高次の不静定構造物、すなわちコンクリートラーメンを主なモチーフとして設計することとした。これは地震時にその一部が破壊して不静定次数が減れば構造物の固有振動周期も変って、それまでの激しい振動の原因になっていた地盤との共振現象が消滅するし、また部材の破壊に伴う構造減衰も期待できるので構造物の崩壊にはいたらないであろうと考えたからである。このような考え方をとったのはそれ迄に成瀬先生などによって紹介されていたマイヨールの作品や上部工と下部工を一体化する彼の考え方から深く影響されていたことでもあったが、特に昭和36年にフランス留学の機会を与えられた際にドイツを通過し美しいハンブルグの町の中心に何ともぶざまな姿をさらして、町の調和を破壊している鉄道トラス橋を見る一方で、セーヌ河とともに300年の情緒をかもし出しているポンヌフの石造アーチを見て、コンクリートこそ都市的構造物であると考えたことも大きかった。もちろん、一方でセーヌに架けられた幾つかの鋼連続桁（特に当時架設中だった全溶接のセーブルの橋には何度も通った）やケルン近くのライン河に架けられた力強くもあり優美でもあるケルン・ドイツ、ケルン・ローデンキルヘン橋等には深く印象づけられました。そして公団内部でも、都市内の構造物はいずれ都市の成長、変化に伴って架け替えなければならない時期が来る宿命のものだから架け替えやすい構造物としておかなければならぬといふ主張も強かった。現在も首都公団で活躍しておられる玉野理事もこの考え方から鋼単純構造を推進されていたと記憶している。

いずれにしても、その当時は東京オリンピックに間に合わせるべく設計を急いでいた時代でもあって、実際の設計業務においては経済性とか美観といった事より現実的な即日的な配慮が先行していて、架け替えという事態はまだ予測の範囲を遙かに超越した遠い将来の事柄で、意識の水面下には絶えず大きく存在していてもなかなか顕在化しなかった。この時も橋梁の寿命はいくらかという疑問は心の中にわだかまつたままであった。

この30年の間、長いこと心の中にあったもやもやが急にはっきりとした形をとる機会が突然やって来た。本四公団の御好意によって保守管理システム調査団の一員として、今年の9月にワシントンで開かれた国際橋梁構造会議主催による橋梁の維持、修繕とりハビリテーションに関するシンポジウムに出席する機会を与えられたのである。ところが、このシンポジウムがなんと各国で現在供用されている橋梁の大部分あるいはかなりの部分が予想された耐用年数を超えており、あるいは寿命に近づいたりしたために各国とも何とかして橋の寿命を伸ばすことを考えようという趣旨で集まった会議だったのである。当然のこととして設計時に橋梁の耐用年数を何年と想定しているかが各国の人達によって議論された。心の中にあったもやもやを各国の専門家がはっきりとした形で表現してくれたのである。私にとってこんなに面白い会議は初めてであった。

2. 設計耐用年数

以下にこの会議で発表された耐用年数に関する主な議論を抄録してみよう。

Thul (ドイツ)

構造物の寿命は50~100年と考えられている。しかし戦後開発されたP C, 合成桁, 鋼床版, 斜張橋等の新技術の耐用年数を評価するにはまだ経験不足である。

Price (イギリス)

設計時に考える耐用年数は部材によって変えるべきである。容易に交換できる部材、例えば舗装、高欄、伸縮継手等は比較的短い耐用年数を考えて設計すればよいし、主要部材についてはもっと長い耐用年数、普通は60~120年を対象として設計すべきである。イギリスの示方書では主要部材の疲労に対して120年の寿命を考えている。

Gotfredson (デンマーク)

構造物の中で20%を占める交換できる部材の耐用年数は最低5年、最高35年、平均で20年、中央値20年で標準偏差6年、残りの80%は最低20年、最高120年、平均で60年、中央値は64年で標準偏差は20年と考えられる。この寿命はあまりにも短いと思われるかも知れないが、デンマークでは気候がきびしく冬期一日の間に気温が氷点を上下してコンクリートに凍結融解が起こり、また凍結防止剤の塩分が構造物に浸透するなどコンクリートに対して悪影響を及ぼす原因が多いので、コンクリート構造物の寿命が短く、これが全体の平均値を下げている。

Grattesat (フランス)

設計に用いられる寿命は100~120年とみなされているが、これはあくまでもこれから建設される橋の耐用年

数であって、現在の橋の寿命ではない。例えばとして、ドイツで将来の架け替え量の予測を行った際には現橋の耐用年数を60年と仮定した例を利用している。

Hirt (スイス)

最近の示方書では一般に道路橋に対して50年、鉄道橋に対して100年の耐用年数を規定している。だが、これは勝手に決めた数字である。この値を現在の橋にも適用して考えている人が多いけれども、現存の橋には疲労が考慮されていない。

いろいろ御紹介させて頂いたが、このようにいろいろの人が橋の寿命をいろいろと考えていることがわかる。しかし、大体の傾向として設計に用いる耐用年数は50~100年と考えられているようである。まず人間の寿命と同じ位ではなかろうか。

3. 実際の寿命

それでは設計に用いる耐用年数ではなくて、実際の橋の寿命は一体どの位だろうか。前述の人々も指摘しているように設計上の耐用年数はいわば勝手にきめたものであって、新しい橋には適用できても現存する橋の寿命を予測するためには用いられない。現存の橋が造られる頃には設計方法が確立されていなかったり、材料が今のように良質でなかったりしたので、現存の橋はこれから建設される橋よりも当然寿命が短いと考えねばなるまい。ところが、大変なことには現存の橋では上述の年数を越えていたり、あるいはそれに近づいている橋が非常に多いのである。

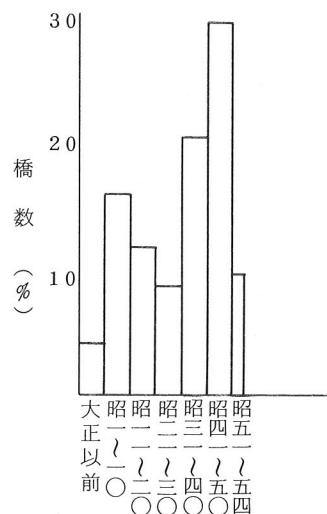


図-1 橋令分布 (日本) 道路局資料

国道二課の星野補佐から頂いた資料によると日本での橋令分布は図-1の通りであって、橋令50年を越す昭和10年以前に建設された橋が全体のちょうど20%を占めている。老朽化社会といふのは人間の世界だけではないようだ。

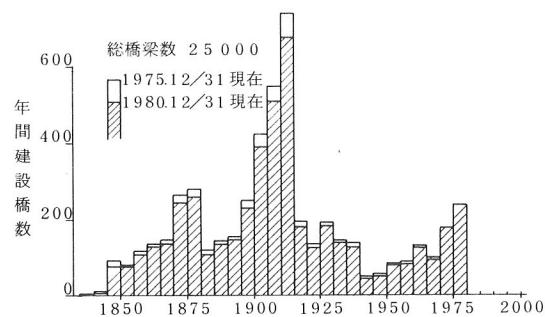


図-2 橋令分布 (ドイツ国鉄) | ABS E

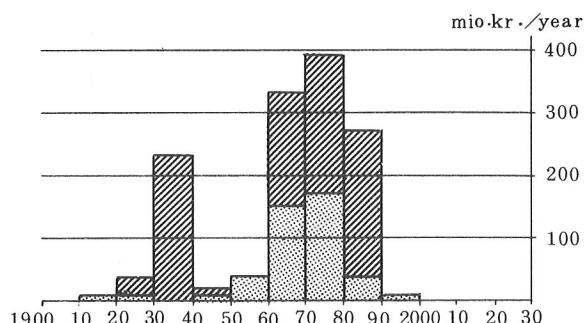


図-3 橋令分布 (デンマーク) | ABS E

ドイツ国鉄の橋令分布を見ると100年以上たっている橋が2割もあるのでまさに驚き以外の何物でもない。(図-2) デンマークの国道橋は比較的新しいものが多いが(図-3), それでもこの国では最近の高速国道網の建設ブームの時に熱狂的雰囲気の中で急げや急げと経験の少ない技術者や将来の耐久性について何も見通しのないままに新しい技術を動員して橋を造って来たものだから, 今になってそのつけがまわり, 近代技術を使ったとみられる橋に支障が多く出てきて, これから維持補修をどうするかが深刻な問題になっている。“崩壊するアメリカ”と最近さかんに言われているアメリカでは1935年以前に架けられた橋が全体の75%にもものぼっており(1977年3月10日号ENR), 事態は今でも改善されていないはずなので50年以上たった橋が半分を占めていることになる。

こんなに老朽化した橋なので当然老朽化していて, コンクリートがボロボロになったり鋼材が腐食したりしていて, ヨボヨボの老人の姿になったものが多い。

しかも人間社会であれば老人ともなれば第2の人生と

称して若い時よりも楽な余生を送れることが多いけれども, 橋の世界ではそうは行かず, かえって年をとるとともに重い荷を背負わなければならない。過去の歴史を見ても日本の道路橋の設計荷重は6tonから13tonへ, さらに20tonへと増大してきたが, 将来荷重についてみても最近の交通実態の調査結果を採り入れたオンタリオ州の設計モーメントはアメリカの道路橋示方書によるモーメントに比べて図-4のように大きくなっている, これからもまだ大きな設計荷重を採用することになろう。設計荷重は実際の走行車両の実態を反映しているのだから, 果

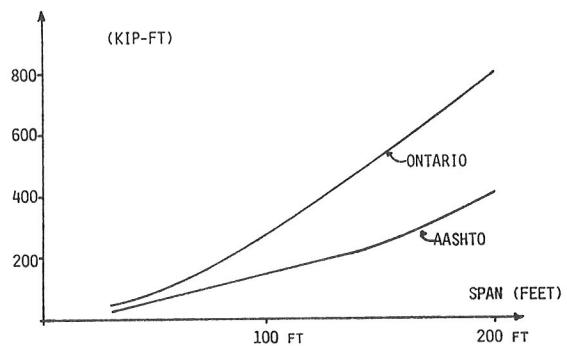


図-4 設計曲げモーメントの比較 (ABS E)

たしてこのように大きな交通荷重に対して現存の橋はどの位まで耐えられるのであろうか。交通量と交通荷重との両方が設計時には思いもかけなかったほどに増大しているのであるから, 老朽橋の負担はもう耐え難い限界にきているに違いない。しかも, もし橋が交通荷重に耐えられなくなつて落橋でもすれば, これは道路管理者の社会的責任を問われることにもなりかねない。事実, アメリカで公共施設の荒廃が叫ばれ出したのはポイントプレザント橋が突然落橋して46人の犠牲者を出したことが一つの契機になっている。特にこの時は老朽の微候などが全く見られなかつた橋において, 通行者の遙か頭にあるアイバーの隠された部分で応力腐食によるひびわれが徐々に進行していって致命的損傷にまで発展した衝撃的な事故で, ちょうど平素頑健な人の体を癌が徐々にむしばんで, 突然救いようのない状態となって現われるのと似ている。

現存の橋の耐用年数は何年であとどの位の寿命が残っているか判断することは全く難しい。今度のシンポジウムでもいろいろな発表があったけれども, 寿命はおろか欠陥を発見することも難しい(例えば, PC鋼線がコンクリートの中でだんだん腐食し破断に至っていても, 外からは見えないし, これを発見する非破壊試験方法がない)という現状と見られた。といって, どこの国でも財政当局は保守点検, 維持補修などの費用をなかなか補助の対象と認めないので, 管理者が気がついた時には橋の

寿命は終わりに来つて維持修繕の及ぶところでなく、高い費用を払つて架け替えなければならない事態になっているというのが現状のようである。ようやく、アメリカがこの愚に気がついて、維持修繕にも連邦補助制度を適用することになったが、まだまだ不十分であつて今のペースではだんだん手遅れになつてしまふと報告されている。

さらに事態を難しくしているものに若死の問題がある。土木研究所の成田部長から頂いた資料によると昭和52年に行われた調査の結果では何らかの理由で撤去、架け替えた道路橋の供用年数は図-5の通りで15年前後と40年前後にピークがあることがわかる。もちろん、この統計は架け替えた橋梁についての資料であつて現存する橋梁の寿命を表わすものではないし、これらの橋の撤去、架け替えの理由はいろいろとあって(表-1)、老朽のためといふのは少なく、むしろ橋梁以外の外的要因によって架け替えが必要になったものが多い。しかし、デンマークのGotfredsonが指摘しているように戦後に

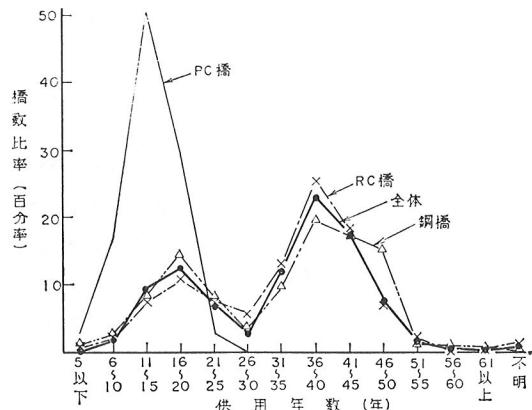


図-5 撤去・架替橋梁の供用年数(年) (土木技術資料)

表-1 道路橋の撤去・架替理由 (土木技術資料)

撤去・架替理由	RC橋	鋼橋	PC橋	合計	
自動車荷重の増大	16(1.5)	13(3.4)	0(0)	29(1.9)	
上部構造の欠陥	9(0.8)	68(18.1)	0(0)	77(5.0)	
RC橋の亀裂・剥離	102(9.2)	—	0(0)	102(6.6)	
床版の破損	59(5.3)	42(11.1)	1(1.5)	102(6.6)	
支承の機能不良	4(0.4)	0(0)	1(1.5)	5(0.3)	
その他の	6(0.5)	2(0.5)	1(1.5)	9(0.6)	
下部構造	橋台・橋脚の変位	9(0.8)	9(2.4)	1(1.5)	19(1.2)
橋台橋脚の亀裂等	11(1.0)	5(1.3)	0(0)	16(1.0)	
基礎工の洗掘等	26(2.4)	8(2.1)	2(3.1)	36(2.3)	
交通容量不足	幅員狭小	170(15.4)	55(14.6)	6(9.2)	231(15.0)
支間不足	12(1.1)	2(0.5)	1(1.5)	15(1.0)	
桁下空間不足	2(0.2)	0(0)	0(0)	2(0.1)	
改良計画	路線線形改良	369(33.5)	77(20.5)	29(44.7)	475(30.8)
河川改良	198(18.0)	44(11.7)	18(27.8)	260(16.8)	
都市計画	29(2.6)	12(3.2)	2(3.1)	43(2.8)	
その他	28(2.5)	31(8.2)	3(4.6)	62(4.0)	
2項目以上の理由	53(4.8)	9(2.4)	0(0)	62(4.0)	
合計	1,103(100.0)	377(100.0)	65(100.0)	1545(100.0)	

橋数(百分率)

おいて道路の復旧、整備を熱狂的雰囲気の中で進めたために、技術者の経験不足や大胆な新技術の導入によって当時は近代技術の粋と目されていたものに欠陥が早くも現われ出てきたものが予想外に多い。イギリスにおける鋼ボックスガーダーの崩壊、フランスにおける片持工法によるプレストレストコンクリート橋の多数の損傷例や広範に見られるPC鋼線の腐蝕などはその例であろう。まさに老若を問わずに死は訪れる。

4. 長寿対策

では、維持修繕や架け替えの必要が急増した現在の局面に対応するにはどうしたらよいか。もちろん財源の確保は必須の条件である。ガソリン税を目的税からはずそうという議論はあまりにも短見に過ぎる。これから維持修繕は地方自治体のみで賄えるものではなくて、国庫補助を主体としなければならないことはアメリカの先例がよく示している。これに必要な財源を国家レベルで確保しなければならない。

直接的な延命策として修繕の手法を確立することも急務である。特に海岸地方においてプレストレストコンクリート橋の塩害がどんどん顕在化している事態に対して、その補修方法を早急に検討し対策を立てなければならない。また、その予防措置を講ずることも必要である。

しかし、長期的に見て重要なことは耐久性を重視した設計施工と既存構造物のたえざる点検、維持であろう。人が長生きするためには体力の増強と常時検診、予防、早期治療が欠かせないことは今日人の常識になっているが、橋梁でも同じことである。丈夫な構造と確実な保守が必要である。

設計において特に配慮すべき点を3点あげたい。

第一に必要な部材には十分な余裕を持たせなければならない。ニューヨークのブルックリン橋は来年100年祭が盛大に開催される予定だが、今なおニューヨークの主要交通路として健在である。一部のハンガーロープ等は取り換えているがメインケーブルは十分な余裕を持ってまだ安全である。同じイーストリバーにかかるウィリアムズバーグ橋もワイヤーを亜鉛メッキしなかったために断面が半分になるほどに腐食してしまっているが、最初の安全率が高かったためにまだ十分供用に耐える強度を残している。いずれの橋も架け替えが考えられないほどの交通量を通しているので主要部材に十分な余裕を見込んだ設計者の先見に感心する。もちろん交換可能な部材といえどもたとえば伸縮継手のように交換する際には大きな交通障害を発生するものもあるのでこの点は十分に考慮しなければならないが、橋梁各部の安全度は部材によって変化させ、必要な場合には無駄とも思えるほどの余裕を持たせることが重要であろう。この観点に立って

みるとプレストレストコンクリートの箱桁橋は、激しい損耗を受けしかも交通荷重の増大が直接影響する床版を断面構成の主要部分としているので最も重要な部材をいちばん危険にさらしている構造形態といえよう。しかもこの構成では床版のみを部分的に補修することはまず難しいので床版と箱桁とを分離することが必要ではなかろうか。

第二に溶接の使用には十分注意しなければならない。溶接部およびその周辺はいちばん欠陥の生じやすい部分であり、しかもそこに生じたひびわれは母材である桁の重要な部分にまで伝播して行くから溶接はたとえ二次部材について行う場合であっても十分な注意を必要とするものであって、特に補修作業に溶接を用いる場合にはあらゆる影響を考慮に入れてその採否から溶接方法までを決定しなければならない。

第三にプレストレストコンクリートの問題である。今度のシンポジウムでも何度も言っていたが、PC鋼線の腐蝕防止が全世界的に重要な課題になっている。PC鋼線腐蝕の主な原因是モルタル注入の不完全と塩害だと指摘されていたが、PC鋼線の腐蝕は外からではなく発見しにくく、いろいろな非破壊検査法が開発の途上にあるけれども、まだ早期発見は難しいので発見された時には大事に至っている様であった。この欠点を補うためにフランスでは片持工法の箱桁に対してウェブ厚を40cm以上とする、シース厚を0.6mm(日本では0.23mm)とすることなどを規定してモルタル注入を完全に行うように配慮している。今回のシンポジウムでもモルタル注入の不完全であったPC桁の補修にシース内を一度真空にした上でモルタルを注入して成功した例が報告された一方、シース内を真空中にすることは大変難しいのでこの方法は不可能だと議論している者もいた。

塩害について日本では専ら海風による塩分の浸透が問題になっているが、欧米では凍結防止剤中の塩分や海で発生する霧の中に含まれる塩分の害も多いと言われている。海岸地方ではプレストレストコンクリートも耐候性鋼板も結局それだけでは十分な腐蝕防止策にならないよう十分な対策が望まれる。筆者の関係した新潟県親不知のPC橋ではかぶりを規定より1.5cm厚くする計画としたがそれなりに被害を避けていると思っている。

これは設計以前の計画問題だけれども、ダムの建設に伴い市町村道の付け替えをする際に、コンクリートなら維持がいらないので鋼橋でなくPC橋にしてほしいとの要望が関係市町村から提出されると聞いているが、これは如何がなものであろうか。PC橋に維持はいらないという神話は崩壊しており、特にダム建設に伴う幅員の狭い市町村道の橋は大抵の場合山の中にあり、生コンの輸送距離も長く、現場管理者の施工管理も十分には行き届

かないと思われるし、気候条件も厳しい地点だと考えられるので、施工が耐久性に大きく影響するPC橋よりもこういう場合こそ耐候性鋼板を使った方が生涯費用において安くなると思う。

予防的な維持管理の一環として橋梁の点検と情報管理の重要性がOECDで採り上げられたのは今から10年も前のことであって、1975年に出了最終報告書では予防的措置の重要性が強調されている。十分な点検を行い、点検結果の情報を処理して十二分に活用することによって事故の予防と早期発見に努めることが必要である。今度のシンポジウムでも、またニューヨーク州を訪ねた時にもアメリカにおいては如何に点検を行い、その情報がいつでも利用できるように整理されており、またこの情報に基づいて工事の優先順位の決定や予算の配分を合理的に行っていることを教えられた。日本でも道路協会のマニュアルもあり、北陸地建でも技術事務所を中心に綿密な情報処理が行われている。癌と同じで発見されてから専門家の処理を受けるよりも、欠陥の所在の発見や予防的措置に専門家を活用することによって橋梁の寿命はずいぶんと伸びることであろう。

5. まとめ

ローマ時代から残っている石造の構造物から連想されたのか、鋼やコンクリート等の人工材料を用いた構造物も永久構造物と呼ばれてきた。今まででは道路網の変遷や交通量の増加が急速であり、洪水被害も多かったのでこれらの構造物は耐用年数を経過する前に他の理由で架け替えられることが多かった。しかし、社会情勢が安定してきた今日以後はこれらの構造物の寿命の有限性が問題になることが多いであろう。現にニューヨークのウェストサイドハイウェイなどは構造物の寿命がきてしまつて無残な姿を曝している。

戦後の復興期から経済の発展時代にわたって莫大な量の公共施設が建設してきた。橋梁や高架構造物はその中でも最もめざましく資産を殖やしてきた。この維持管理だけでも多くの費用と労力を必要としうが、もしこれらの構造物に寿命が来て架け替えを要求されるようになったら、果たしてどの位の投資を必要とするのだろうか。先程のデンマークのGotfredsonは同国の高速自動車道網建設の最盛期であった1970年代よりも多い投資が2030年代には維持、管理、架け替えのために必要になるだろうと試算している。そしてこのような投資はその時の財政事情からみて無理であろうと考えている。我が国でもおそらく事情は同じであろう。我々に残された道は現存の構造物を大切に維持管理して出来るだけ長命を保たせるとともに、今後建設する構造物の寿命を出来る限り長くする以外にない。