

自然環境を活かした 生活と交通について

奥村 誠
(東北大学 教授
東北アジア研究センター)

クイズその1

- ▶ 世界で最も寒い都市は、どこにある？
1. 南極
 2. ヒマラヤ
 3. シベリア



20万都市 ヤクーツク (Yakutsk)



北緯62度, 東経129度

サハ共和国(人口98万人)
の首都

サハ共和国内では, ダイ
ヤモンドと金が取れる

- ▶ 食べ物は自給できない
- ▶ 鉄道も, 舗装道路もつながっていない
- ▶ 飛行機でもって行くには大変

永久凍土層の上に建物を建てる



クイズその2

- ▶ ヤクーツク市水道局では水を+7°Cに温めてから水道管に流し、凍結を防ぎます。
- ▶ では、水道のない郊外では、飲み水をどのようにして手に入れているでしょう？
 1. 井戸水を使う
 2. 川や池の氷を保存しておく
 3. 雨水を使う



氷の切り出しと保管



撮影
東北大学高倉准教授



ヤクーツクへの道路とレナ川水運



ロシア連邦の道路は
対岸にしかない



4500kmのうち下流の3000
kmの間には橋がない



冬道路システム

凍結河川上の道路



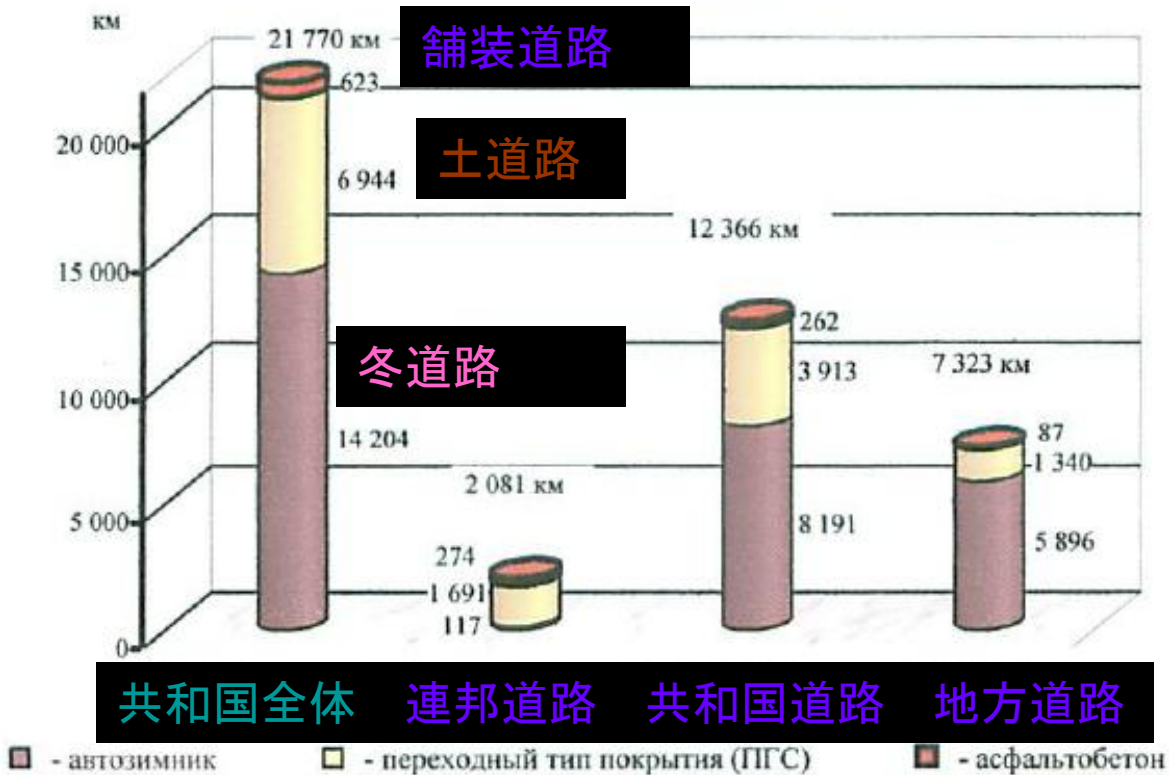
冬道路システムの実態

- ▶ 氷はかなり強い
 - ▶ -1°C の氷10cmの上には1トン, 1mあれば40トン
- ▶ 11月中旬～4月中旬の半年間凍結
 - ▶ 凍結していない期間の方が短い
 - ▶ 夏季より通りやすい
 - ▶ 小河川・アラーズの横断, 路面の凹凸
- ▶ 近代的な生活のために不可欠なシステム
 - ▶ ソビエト連邦崩壊後, ヘリコプター輸送が困難に
 - ▶ 冬道路以外では物が運べない村が増加
- ▶ 秋春の時期に, 川に落ちる事故がある



サハ共和国の道路

Распределение автодорог Республики Саха (Якутия)
по видам покрытия



総延長の3分の2は冬道路

横断型冬道路 『氷の橋』

- ▶ 夏季はフェリー



クイズその3

- ▶ この場所でレナ川を横断する氷の道は、予備の1本を含めて3本並行しています。
- ▶ では、**主要な2本の道をどのように使いわけているでしょう？**
 1. 方向別に使っている
 2. 車両の重さ別に使っている
 3. 車両の速度別に使っている



往復の方向別に使う理由

- ▶ **氷の下の水には、圧力波が発生する**
 - ▶ 車両が載っても割れないが、氷はたわむ
 - ▶ 氷の下を流れる流水の圧力が高くなる
 - ▶ 圧力が波のように伝わる
- ▶ **圧力波の重なりを防ぐ必要がある**
 - ▶ 往復の道路を50m以上離して設置する
 - ▶ 前後の車両の車間距離を45m以上に規制
 - ▶ 車両の通行速度を規制(通常一20km/h)



季節ごとの貨物輸送量

2004年 貨物輸送量 (千t)	第1四半期 1～3月	第2四半期 4～6月	第3四半期 7～9月	第4四半期 10～12月
自動車輸送	1057.2	915.0	1084.7	838.1
鉄道輸送	2416.9	2532.0	2496.0	2557.1
北極海船舶	73.6	60.4	53.6	56.1
河川船舶	-	876.0	1566.8	255.5
航空輸送	5.6	6.6	7.8	10.6
パイプライン	488.0	267.0	285.1	446.1

(サハ共和国統計書2005年版)



季節ごとの旅客輸送量

2004年旅客輸送量(千人)	第1四半期 1～3月	第2四半期 4～6月	第3四半期 7～9月	第4四半期 10～12月
自動車輸送	22968.5	21416.8	22770.4	27494.4
鉄道輸送	33.7	42.3	39.3	49.7
船舶輸送	-	28.5	85.6	15.5
航空輸送	124.0	174.2	240.7	158.6

2004年旅客輸送(百万人km)	第1四半期 1～3月	第2四半期 4～6月	第3四半期 7～9月	第4四半期 10～12月
自動車輸送	134.9	124.5	138.7	166.1
鉄道輸送	58.8	74.1	67.3	54.4
船舶輸送	-	4.1	13.3	0.4
航空輸送	295.5	403.0	560.9	371.7

(サハ共和国統計書2005年版)

自然を最大限に生かした輸送技術

エネルギー，環境負荷の観点から，見直されて良いのでは？

- ▶ シベリア凍結河川道路輸送
- ▶ シベリアの雪解け時期の中小河川の水運
- ▶ 北前船（帆船，台風期を避ける）
- ▶ ブラジル穀物輸送（雨季の増水期のみを使う）



地球温暖化が進んでも大丈夫なの？

シベリアは地球上最も大きな気温上昇が予測されている
(運輸省道路局での聞き取りより)

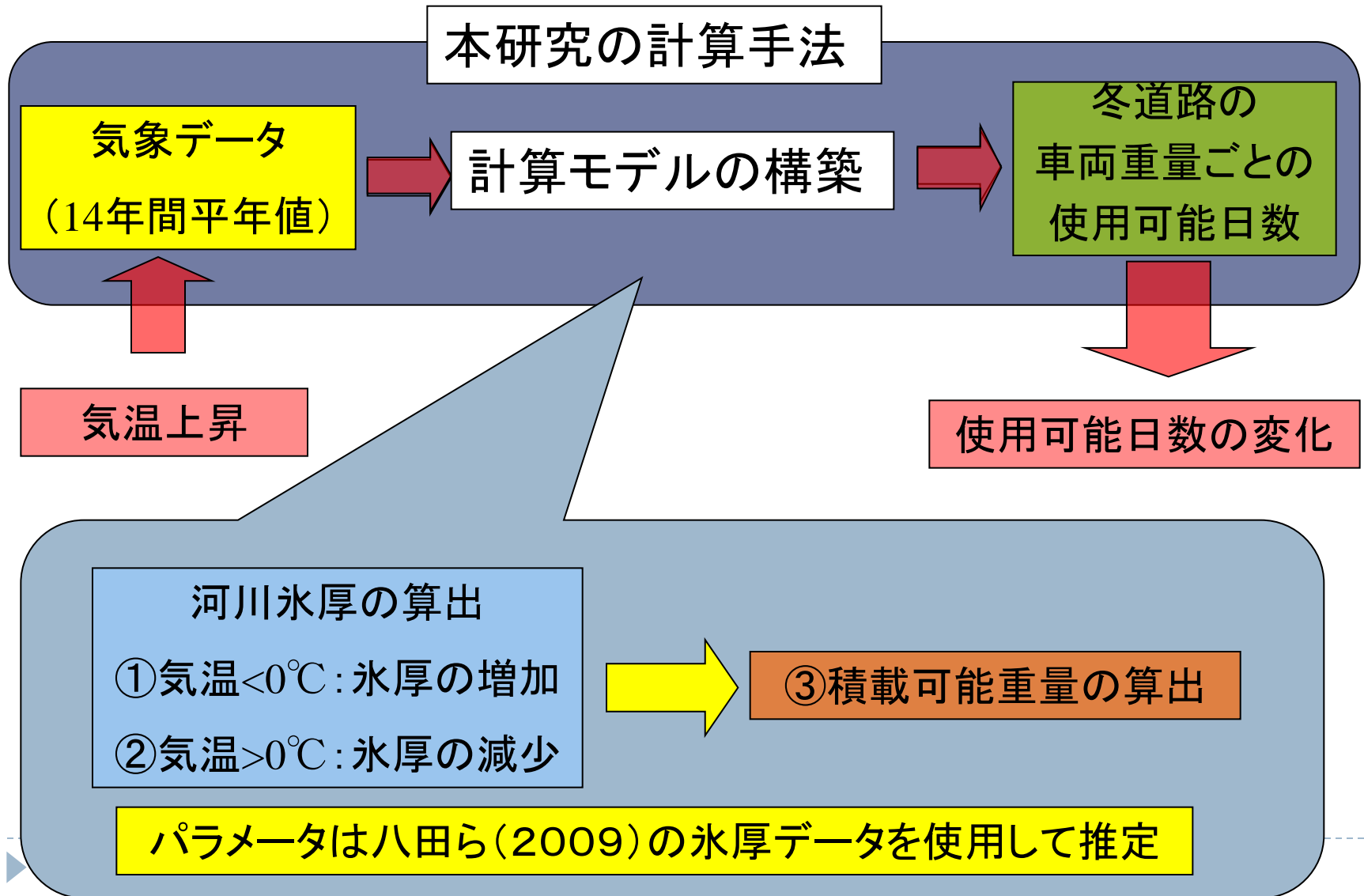
- ▶ 昔は11月7日ぐらいには最初の作業に入れることが多かったが、最近では10日ほど後ろにずれている。
- ▶ 公式の開通日に合わせるために、以前は昼間だけの作業で済んでいたものが、最近では24時間体制での作業となっている。
- ▶ 建設にかかわる共和国からの予算は基本的に変化していないので、夜間の労務量が割り増しになるだけ、会社としてはつらい状況になる。

温暖化による影響と研究課題

- ▶ 河川が凍結しなくなることはないだろう
- ▶ 凍結時期がずれてくる
 - ▶ 輸送需要の変動と合致するのか? **交通計画**
- ▶ 安全性が問題となる期間が長くなる
 - ▶ 気候予測, 凍結融解の予測 **気候学, 水文学**
 - ▶ 氷強度の推定と重量制限 **構造力学・岩盤力学**
- ▶ 安心して長く使える横断地点の設定
 - ▶ 流速が小さく, 氷が融けにくい場所の選定 **河川工学**
 - ▶ テキスタイルなどによる補強 **建設材料学**

土木のさまざまな分野が総合して取り組む必要がある

分析のフロー

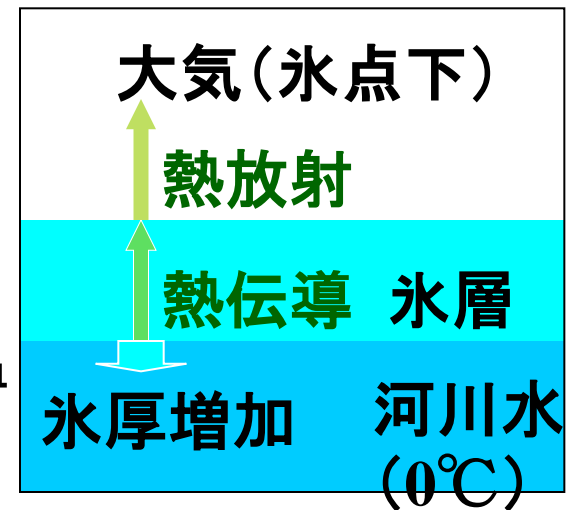


①氷厚増加（気温<0℃）の計算方法

- ▶（日平均気温<0℃）のとき氷厚は増加
- ▶ Stefanの式 ……久保(1980), 野澤(2006), 八田ら(2009)
 - ▶ 気温は常に氷点下
 - ▶ 0℃の静水上の氷層が, 大気で冷却されている時の熱収支
 - ▶ t-1日目の氷厚とt日目の日平均気温からt日目の氷厚を算出

$$h_t = K \sqrt{\frac{h_{t-1}^2}{K^2} - T_t}$$

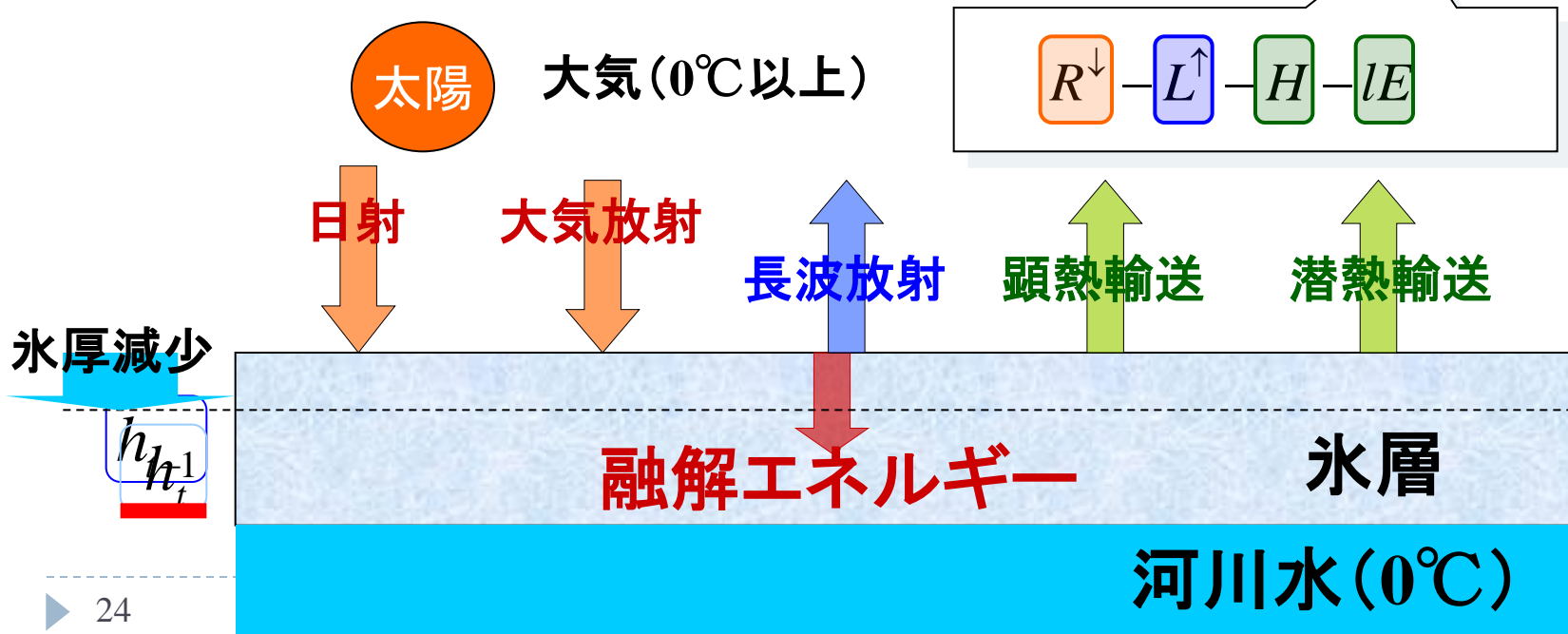
h_t t日目の氷厚
 K 係数(現物合わせ)
 h_{t-1} (t-1)日目の氷厚
 T_t t日目の日平均気温



②氷厚減少（気温>0℃）の計算方法

- （日平均気温>0℃）のとき氷厚は減少
- 氷面上における日射と大気の熱収支から融解を表現

$$h_t = h_{t-1} - \frac{1}{(\text{融解潜熱}) \times (\text{氷の密度})} \times (\text{融解エネルギー})$$



③積載可能重量の計算

▶ 氷の破壊現象

- ▶ 無限に広がる浮遊氷板に、積載車両と等価である一様な円盤分布荷重がかかっている
- ▶ 氷板に荷重→たわみ→曲げ変形→放射状クラックが発生



曲げモーメントを考慮

<せん断力, 軸力

▶ 積載可能重量の算出・・・久保(1980)の近似式

$$P_{CR} = 0.371 \left(1 + 7.85 \frac{\sqrt[4]{k} a}{\sqrt[4]{E h^3}} \right) \sigma_f h^2$$

積載可能重量

氷厚

σ_f : 氷板破壊 $[kg/cm^2]$ *
 k : 円盤係数 $[kg/cm^3]$
 E : ヤング数 $[kg/cm^2]$ *
 a : 積載半径 $[cm]$
 * 氷温に依存

分析対象地と使用データ

▶ 分析対象地

サハ共和国首都ヤクーツクにおけるレナ川
→冬道路の需要が高い

ヤクーツク
(人口26万人)



図3 ヤクーツクの地図

▶ 使用データ

▶ 氷厚

・・・1985年10月～1988年5月、冬期に10日おきに測定

▶ 気象データ

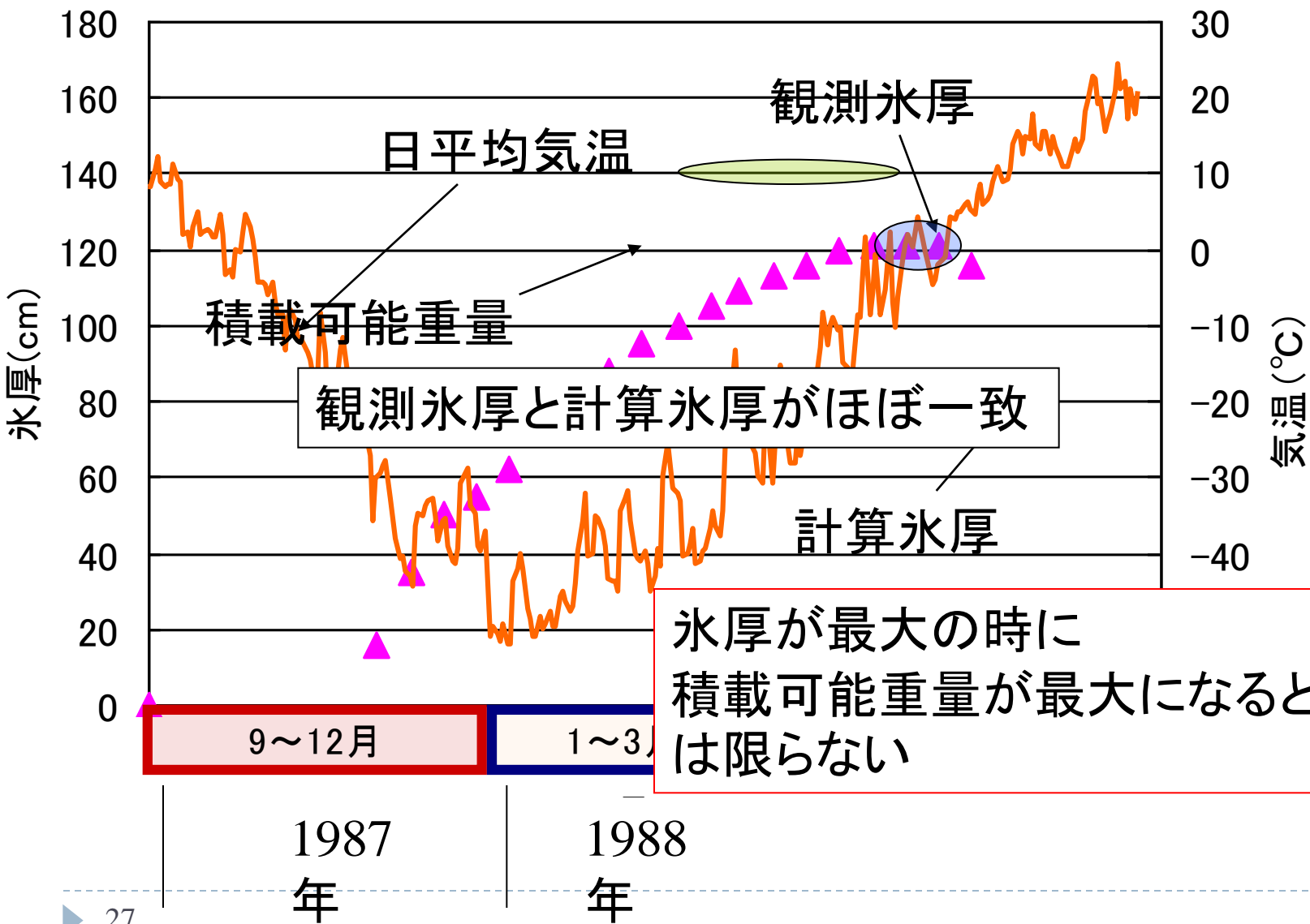
・・・「Baseline Meteorological Data in Siberia Version 4.1」

平均気温、平均湿度、日照時間、平均風速

1986年1月～2004年12月の毎日（77地点）

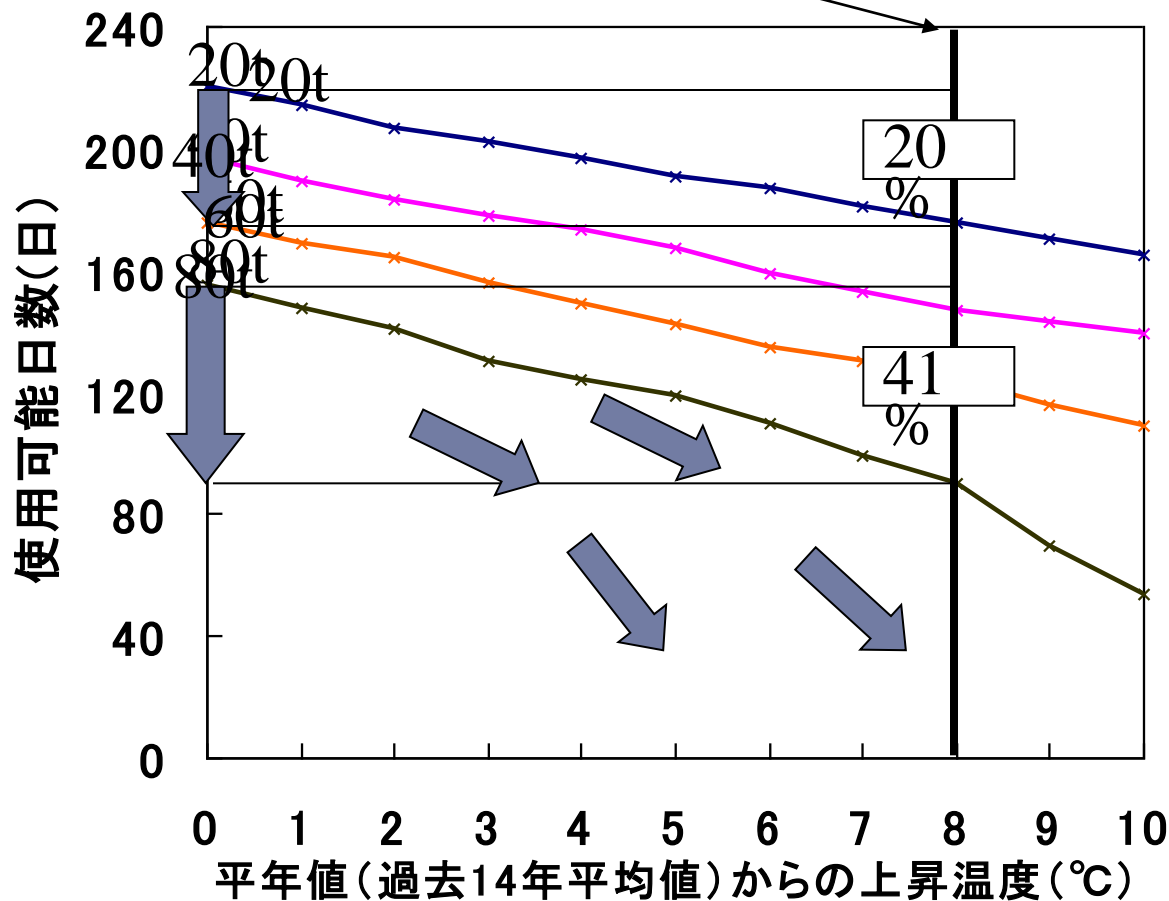
※1996、1997、1998、2003年は日照時間にエラー

氷厚と積載可能重量の計算例



気温上昇による使用可能日数の変化

IPCCによる最悪予測
(100年後)



- ▶ 重い車両ほど
日数の減少率が大い
20t・・・20%減少
80t・・・41%減少
- 気温上昇に対して
非線形に減少

通年使うことができない輸送技術

- ▶ シベリアにおける社会的な対応
 - ▶ 政府による必需品輸送プログラム
 - ▶ 民間業者による備蓄
 - ▶ 地域社会としての対応
 - ▶ 個人, 家族ごとの備蓄や工夫

- ▶ 日本では, 「途絶」「孤立」の解消を目的に, 道路を作り, 除雪を行ってきた, が……
 - ▶ 災害時の道路寸断と途絶
 - ▶ 高齢化のますますの進展と限界集落問題

自然災害によって起こる「途絶」「孤立」

河北新報のニュースサイト・コルネット

福島ニュース

新潟・福島豪雨「ドッカーン」橋消えた 会津地方



増水で勢いが増した只見川＝30日午前8時ごろ、福島県柳津町

降りやまぬ雨と濁流が山あいの集落を襲った。29日から30日にかけて、記録的な集中豪雨に見舞われた福島県会津地方。土砂崩れや川の氾濫が住宅を巻き込み、道路網をずたずたにした。東日本大震災と福島第1原発事故に苦しめられている福島県。比較的被害が少なかった会津地方に突然、水の脅威が直撃した。

最も雨量が多かった只見町では、至る所で橋の崩落や土砂崩れが起き、29日夜から孤立状態になった。

只見町小川の主婦(38)は「ドッカーン」という音を聞いて外に出ると、近くの伊南川に架かる小川橋がなくなっ

ていたという。29日深夜か30日未明のこと。主婦は「道路も土砂でふさがれ、今後どうなるかと心配になった」と青ざめた。

南会津町では土砂崩れで国道が寸断。30日朝、身動きできなくなっていた人たちが、半日以上すぎたから県のヘリコプターで救出された。帰省中に被災した東京都練馬区の会社員男性(31)は「明け方、目の前の橋が流されているのに気付いた」と驚いていた。

季節ごとの貨物輸送量

2004年 貨物輸送量(千t)	第1四半期 1～3月	第2四半期 4～6月	第3四半期 7～9月	第4四半期 10～12月
自動車輸送	1057.2	915.0	1084.7	838.1
鉄道輸送	2416.9	2532.0	2496.0	2557.1
北極海船舶	73.6	60.4	53.6	56.1
河川船舶	-	876.0	1566.8	255.5
航空輸送	5.6	6.6	7.8	10.6
パイプライン	488.0	267.0	285.1	446.1

(サハ共和国統計書2005年版)

冬道路の交通と経済(輸送体制と価格)のヒアリング調査

▶ 北方地域経済研究所

- ▶ First General Director of Science: Mr. Nikolaev Mihael Wasilyecich
- ▶ Managing Economics Sector: Mr. Fedorov Rodion Innokentewich
- ▶ Candidate Economic Science, Sector of Public Financial Politics: Ms. Gabrilieva Tuiara Nikolaevna
- ▶ 共和国の北方輸送制度について
- ▶ 気候変動の影響について

▶ サハ共和国価格政策委員会

- ▶ The first deputy chairman: Mr. Maxim Trofimov
- ▶ 北方輸送事業と価格統制について

▶ 物流商社 "Yakutopttorg" (Yakut Wholesale and Trade の意)

- ▶ Deputy General Director : Ms. Alexandra Postnikova
- ▶ 北方輸送事業の実際について

夏の間は船で街まで運び、
そこから冬道路を利用

共和国政府
の補助による
輸送が70%

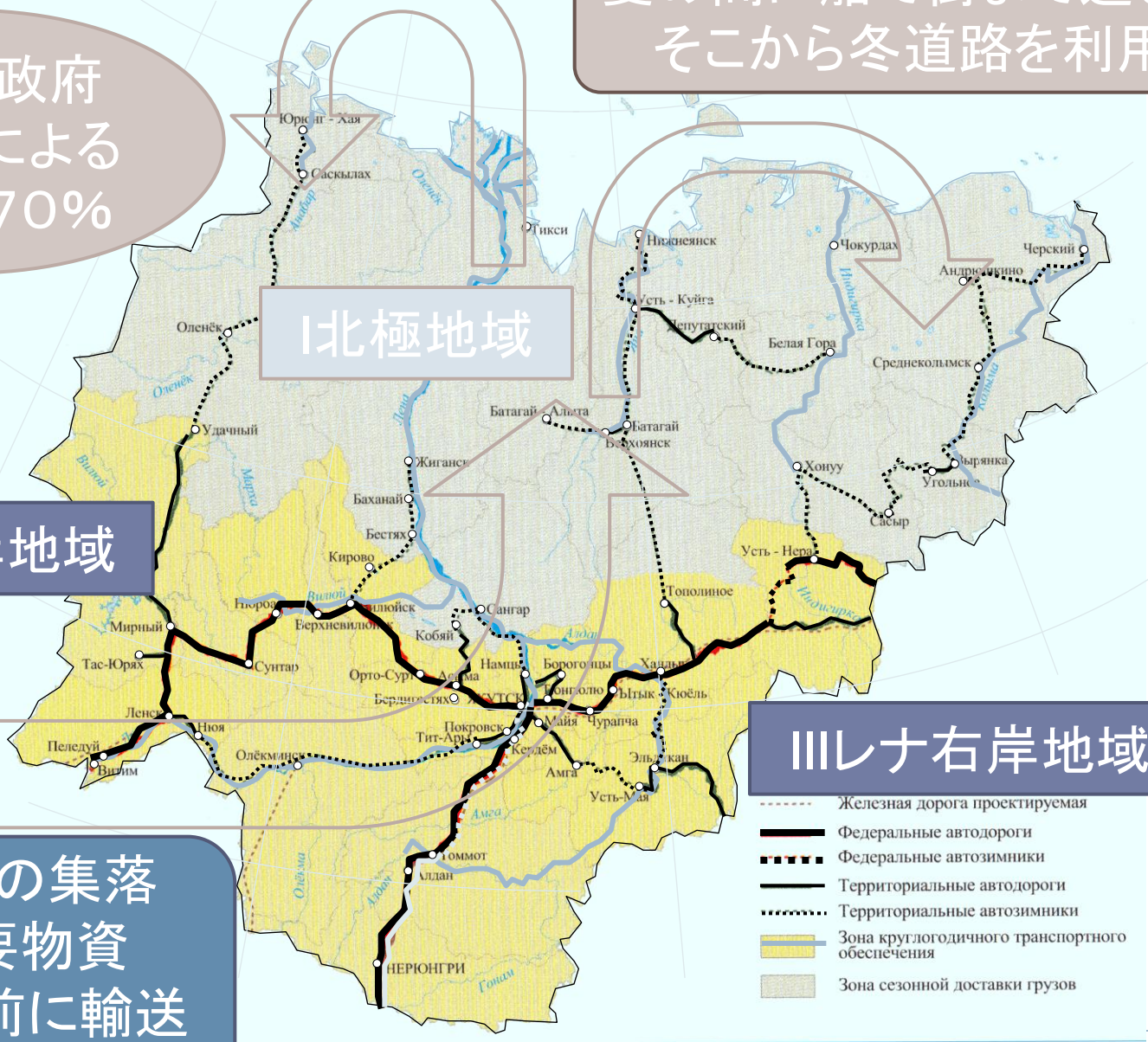
I 北極地域

II レナ左岸地域

III レナ右岸地域

モスクワ
等で仕入

40人以上の集落
12の必要物資
I: 1~1.5年前に輸送
II, III: 90日分備蓄



輸送プログラム物資の価格

- ▶ 北極地域の財の価格を南部と比べるとおよそ7~9倍程度
- ▶ 価格は年次ごとに決められているので、その中には季節変動はない
- ▶ 仕入価格の長期的上昇とインフレーションで、徐々に価格は上昇している
- ▶ 特に石油の価格と輸送費とが相互に上昇していくというプロセスが無視できない
- ▶ 基本的な輸送・交通インフラはソビエト連邦時代に作られたものが維持され、使用可能である

輸送プログラムの実際

- ▶ **2年物の物資（シリアル，小麦粉，砂糖，缶詰など）**
 - ▶ 3月～4月：モスクワ・ノボシビルスクで仕入れ
 - ▶ 5月：鉄道でイルクーツク経由ウスチ・クートに荷揚げ
 - ▶ 6月～9月：レナ川水運・北極海・河川舟運で港まで運ぶ
 - ▶ 1月～3月：冬道路を利用して水運のない集落に運ぶ
- ▶ **1年物の物資（野菜など）輸送費は2倍**
 - ▶ 9月～11月：仕入れ後，鉄道でニュリュングリへ輸送
 - ▶ 12月～2月：冬道路を利用して水運のない集落に運ぶ
- ▶ **短期の食品（ミルク，卵，ハムなど）**
 - ▶ 航空機を使用，70,000ルーブル/kg
 - ▶ 共和国から80%分の補助金を出す

輸送プログラムのリスク対応など

- ▶ 悪天候に備え、2か月分の余裕を持たせている。交通停止が起きそうな場合には、必要な財を追加的に輸送する
- ▶ この会社は2000年からの実績を持ち、かなりの精度で各集落の需要量を計算できる
 - ▶ 売れ残りが出そうな場合には、安売りをすることで売り切る
- ▶ 北極海輸送は進んでいない
 - ▶ 多くの財のウラジオストック卸売価格が割高であり東側からの北極海輸送は不利。
 - ▶ 西部からの輸送では必要な量(1万7千~8千ton)が集まらない。
- ▶ プログラムの対象は食糧のみであり、対象にならない洋服・電化製品は、インターネットで注文を取り、ヤクーツクで仕入れて北極地域まで輸送する個人企業がある。
 - ▶ 重量物は6月~10月の水運, 1月~4月の冬道路利用

冬道路の経済評価へ

- ▶ 冬道路の意義を示したい。
 - ▶ 途絶期間が織り込まれている地域経済
- ▶ 通常の経済学的評価が適用できない
 - ▶ ニュートン物理学の応用としての近代経済理論
 - ▶ 不連続(微分不可能な)事象の評価が困難
- ▶ 交通途絶と地域孤立の問題
 - ▶ 日本では忘れられていた問題
 - ▶ 豪雪(鳥取,会津,福井)高齢化
 - ▶ 別組織での立上げ(東北アジアC共同研究)
 - ▶ 北方地域経済研究所Tuyara研究員を招へい
 - ▶ 現地における継続的な価格、取引量の調査

今後の展開

- ▶ **本質的な疑問(フェリーの期間が延びるだけ?)**
 - ▶ 電力工事のように、開通・遮断前後に集中して仕事をする必要のある業種がある。
 - ▶ フェリーの業者は、開通時期が予測できれば効率的に準備作業ができるのでは？
 - ▶ 高精度の予測は氷上道路整備業者の作業計画に役立つ
 - ▶ 2010年12月の氷上道路設営作業観察
- ▶ **一般の人々、経済への影響を知りたい**
 - ▶ 途絶期間が近づいたときの対応行動(備蓄)
 - ▶ 途絶期間の不確実性が増すと、必要な備蓄が増加？
 - ▶ コスト高につながり、経済損失を招く
 - ▶ 途絶リスクがある場合の最適備蓄量の理論分析

温暖化による影響と研究課題

- ▶ 河川が凍結しなくなることはないだろう
- ▶ 凍結時期がずれてくる
 - ▶ 輸送需要の変動と合致するのか? **交通計画**
- ▶ 安全性が問題となる期間が長くなる
 - ▶ 気候予測, 凍結融解の予測 **気候学, 水文学**
 - ▶ 氷強度の推定と重量制限 **構造力学・岩盤力学**
- ▶ 安心して長く使える横断地点の設定
 - ▶ 流速が小さく, 氷が融けにくい場所の選定 **河川工学**
 - ▶ テキスタイルなどによる補強 **建設材料学**

土木のさまざまな分野が総合して取り組む必要がある

土木工学とは

- ▶ 自然のシステム，人間社会のシステムのもつ法則を理解したうえで，
- ▶ 人間の生活や経済活動を支えるために
- ▶ 自然を活用するしくみ(Infrastructure)を
- ▶ 計画，設計，施工，管理する
総合技術である



土木という名前は、「築土構木」から

- ▶ 古者は民，澤處し，復穴し，冬日は則ち，霜雪霧露に勝えず，夏日は則ち暑熱蚊虻に勝えず．聖人及ち作り，之が為に**土を築き木を構へて**，以て室屋と為し，棟を上にし，宇を下にして，以て風雨を蔽ひ，以て寒暑を避けしめ，而して百姓之を安んず．（**淮南子・中巻「十三汜論訓」**）
- ▶ 河水（黄河）と江水（揚子江）と並んで，東シナ海に注ぐ淮水（ワイスイ）。その流域の南部が**淮南（ワイナン）**。
- ▶ 紀元前3世紀末（前202）、項羽に勝った劉邦（高祖）が秦王朝を倒して漢王朝（前漢）を樹立。
- ▶ 第五代武帝の治世（前141～前87）には，劉邦の孫に当たる**劉安（前179～前122）**が父について**淮南王**であった。
- ▶ 劉安は「淮南子（エナンジ）」と呼ばれ，文人を集めて編纂した書物も「淮南子」と呼ばれている。

クイズその4

- ▶ 土木工学を英語ではなんと言うでしょう？
 1. Earth and Tree Engineering
 2. Civil Engineering
 3. Doboku Engineering

- ▶ また、その言葉と反対の意味を持つ言葉は何でしょう？



Civil Engineering (市民の工学)

- ▶ 市民の生活を支えるための工学

- ▶ エジプトや中国の古代文明の時代から存在
- ▶ ピラミッドは王のための墓ではない

(竹村公太郎先生)

- ▶ 反対語は軍事工学

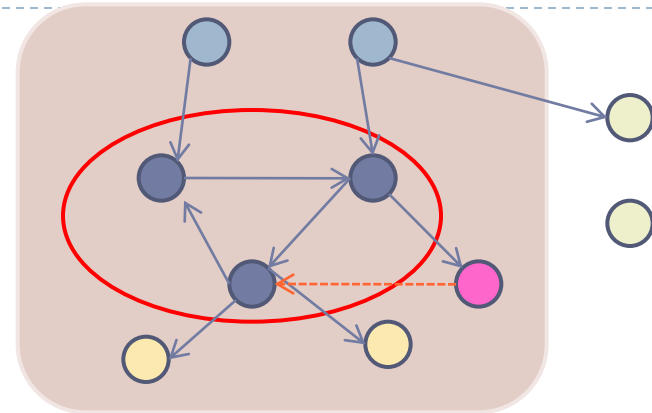
- ▶ Military Engineering



「環境にやさしく」という言葉の矛盾

▶ システム境界の外側

- ▶ 外部要因
- ▶ 内部
- ▶ 外部の影響先
- ▶ 無関係



▶ 「環境」は「外部」のうち我々と無関係でない部分

- ▶ 「環境」に与えた影響が、また我々に戻ってくる
 - ▶ それならば、「環境」はシステムの内部と見なすべき！

▶ 「環境」とは長い間「外部」と思ってきた「内部」のこと

- ▶ 時代とともにシステムの境界は変わるはず
- ▶ 対象の範囲を常に疑う必要がある

▶ 「土木」についても、範囲が変わってきているが認識不足

理科教育と環境教育への期待

- ▶ 地球規模での環境変動が起こる時代
 - ▶ 「自分とは関係ない」「わからない」では済まない時代に
- ▶ 環境教育
 - ▶ 何が起きているのか、これから何が起きそうかの理解
- ▶ 理科教育
 - ▶ どんな時に起きるのか、どのぐらいの規模で起きるのかの理解のための基礎
- ▶ 基礎と応用
 - ▶ 基礎を知ると、応用がうまくできるようになる
 - ▶ 応用を知ると、基礎を学ぶ意欲が生まれる
- ▶ 土木技術：
 - ▶ では人間社会ではどう対応するのか？





旭山動物園
(旭川市)
2011.2.19

ヨチヨチ歩きですが、
少しずつ前進します