

数理計画ソフト “ Xpress-MP’  
Modeling 事例集  
“Application of optimization with Xpress-MP”

この事例集は、実際に Xpress-MP の言語を使用したモデリング事例集の書籍、  
“Application of optimization with Xpress-MP”のアウトラインを日本語で纏め  
たものです。

大学教育用のケース・スタディー、又企業における最適化プロジェクトのイメ  
ージを得ていただくのに最適です。

当書籍は英語版（近々、日本語版刊行の予定）ですが、ご要望により特別にご  
提供（1冊 6,000 円）いたしますので、お問合せください。

お問合せ先： Dash Optimization 株式会社

電話：043-297-8836

FAX：043-297-8827

E-mail: [support@jp.dashoptimization.com](mailto:support@jp.dashoptimization.com)

## Xpress-MP Modeling 事例

### “ Applications of optimization with Xpress-MP ”

#### A . Mining and Process industries ( 鉱業とプロセス産業 )

##### Production of alloys

###### 合金製造 :

炭素、銅、マンガン含有量範囲が規定されている鋼板 500 t を、7 種類の原料合金から製造する。各原料の各元素含有量 ( % )、手持ち量 ( 在庫 )、単価が与えられた場合、製造コスト ( 原料コスト ) 最小となる製造方法と、製品の各元素含有量を求める。

##### Animal food production

###### 家畜飼料製造 :

からす麦、とうもろこし、糖みつの 3 種の原料から、砕粒 / 混合 / 粒化 / 分別の 4 工程により、粒状 / 粉状 2 種の家畜飼料を製造する。最終製品はたん白質、脂肪、繊維質の含有量の仕様が決められている。各原料のはたん白質、脂肪、繊維質含有量と手持ち量、単価、各工程の加工費単価が与えられた場合、9 t の粒状飼料と 12 t の粉状飼料を毎日製造するとして、総コストを最小にする製造方法を決める。

##### Refinery

###### 石油精製 :

2 種の原油から蒸留 / 改質 / 触媒分離 / 脱硫 / 混合の工程を経て、4 種の最終製品 ( ブタン、ガソリン、軽油、熱交換オイル ) を得ている。原料 中間生成物 最終製品にいたる収量データと、オクタン価、蒸気圧、イオウ成分 ( % ) 特性データがあたえられた場合、各最終製品の所要量を最小コストで生産する生産計画をたてる。( 各工程の能力制約と単位収量あたりの加工費データがある。 )

##### Cane sugar production

###### 砂糖製造業 :

さとうきび工場において、収穫したさとうきびは製造工程投入までの間急速に品質劣化し、寿命時間を過ぎると価値 = 0 となって廃棄される。品質劣化 ( 収量ロス ) データと寿命時間の分かっている合計 11 ロットのさとうきびを、3 ラインで寿命時間内に工程投入したい。1 ロットの処理時間を 2 時間として、もっとも収量ロスの少ない製造計画をたてる。

##### Opencast mining

###### 露天掘り :

総埋蔵量 10000 t、18 区画 ( 深さレベル 1 ~ 3、3 層 ) のウラン鉱の分布と品位 ( 売値 ) がわかっている。1 区画の掘出しコストはレベル 1 ~ 3 に対応してそれぞれ £ 100、200、300 である。ただし特に硬い区画がありその掘出しコストは特別に £ 1000 である ( いずれも 1 t あたり )。さらにレベル 2 以上の掘出しには上部のテラス作成が必要である。利益最大とするにはどの区画を掘出したらよいか。東西・深さの 2 次元問題として考える。

##### Production of electricity

###### 発電所運転計画 :

性能、運転コストの異なる 4 種の発電機を持つ発電所で、1 日を 7 つのタイムゾーンに分けた電力需要予測を満たすための運転計画をたてる。各発電機の台数、出力範囲、時間当たり固定費と出力比例変動費、スタートアップコスト ( 停止 運転の場合のコスト ) があたえられた場合、1 日の総運転コストを最小にする運転計画は ? ( 各タイムゾーンのはじめに発電機は停止可能であり、需要予測 + 20 % に対処できるように計画する )

#### B . Scheduling problems ( スケジューリング )

##### Construction of a stadium

###### スタジアム建設 :

先行制約のある 18 の作業からなるスタジアム建設プロジェクトのスケジューリング問題。各作業は追加費用 ( 特急工事 ) を支出した場合の最大短縮日数がわかっている。完成日数を最短とするスケジューリング ( 追加費用なし ) と、発注者の提案した早期完成ボーナスと追加費用を考慮した建設業者の利益が最大となる工事短縮日数は ?

### Flow shop scheduling

フローショップスケジューリング：

自動車用パイプの加工組立て工場は、曲げ加工 / 溶接・固定 / 組立ての 3 工程 ( 機械 ) からなり、全製品は同一工程 ( 順 ) で順次処理される。中断 / 追越しは認められない ( フローショップ問題 ) 。今各工程の処理時間があたえられた 6 種類の製品を処理する場合、処理完了時間が最短となるスケジューリング方法は？

### job shop scheduling

ジョブショップスケジューリング：

3 種の壁紙を 3 色の印刷工程で製造する工場において、各壁紙の作業手順はそれぞれ固定であるが、印刷順と使用色は異なっている ( ジョブショップ問題 ) 。各壁紙の各色印刷時間があたえられた場合、処理時間最小となるスケジューリング方法は？各色の印刷機は一度に一種の壁紙しか処理できない。

### Sequencing jobs on a bottleneck machine

製造ボトルネックの工程設計：

全 7 つのジョブを 1 台で処理する機械は、ボトルネックマシンである。7 つのジョブのリリース日 ( 作業開始可能日 ) 、要処理日数、納期があたえられたとき、全処理時間、平均処理時間、総待ち時間を最小にするジョブのスケジューリング ( 実行順序 ) をきめる。

### Paint production

塗料製造：

塗料製造工場では、1 ラインで 5 種類のジョブ ( バッチ ) を毎日実行する。各ジョブの処理時間とジョブ切替時の洗浄時間マトリックス ( 対角成分 = 0、行ジョブ 列ジョブの切替時洗浄に要する時間 ) があたえられたとき、サイクルタイム最小となるジョブのスケジューリングをもとめる。

### Assembly line balancing

組立てライン工程設計：

プリント基板上に各種部品を搭載している増幅器の製造工程は、先行制約のある 1 2 の作業からなる。この作業を 4 つの工程に割付け、全製品が 1 2 3 4 の工程の作業を経て完成するようにしたい。各作業の標準時間と先行制約があたえられたとき、サイクルタイム ( 1 製品の完成までの所要時間 ) 最小となるように各作業を工程に割り付けたい。

## C . Planning problems ( 計画 )

### Planning the production of bicycles

自転車製造計画：

子供用自転車の向う一年間の販売予測データがある。この工場の生産能力は、月産 30000 台であるが、残業で 50% まで増産可能である。ただし 1 台あたりの製造原価が、£ 32 £ 40 に上昇する。現在 2000 台の製品在庫があり、在庫スペースの制限はないが 1 台あたり £ 5 / 月の在庫費用が発生する。予測需要を満たし、総費用を最小にする 1 年間の生産計画をもとめる。

### Production of drinking glasses

飲料用グラス製造：

6 種類の飲料用グラスについて、向う 12 週間の需要予測データがある。各製品の製造コスト、初期 / 最終在庫と在庫費用、占有スペース、単位加工時間 ( 人手と機械 ) と週あたりの加工時間上限 ( 人手 390h、機械 850h / 週 ) がわかっている。総費用を最小にする生産と在庫の計画は？

### Material requirement planning

MRP：

ある玩具製造会社では、2 種類のおもちゃのトラックを製造している。それらはいずれも 13 個の部品を組み立てて作られる。各部品の材料コスト ( 部品費 ) と BOM 展開した加工費のデータがあたえられている。組立て工程の一部は外注に出すことが出来る。来月の需要量と生産能力 ( 最大加工時間 ) の制約があるとき、製造コスト最小となる生産計画をたてる。

### Planning the production of electronic components

電子部品製造計画：

4 製品の向う 6 ヶ月にかかる、需要 / 製造・在庫費用 / 初期・最終在庫のデータがあたえられている。これらの製品は計画変動の製造コストへの影響が大きく、予定超の場合は £ 1 の単位費用、予定減の場合は £ 0.5 の単位費用アップがそれぞれ発生する。この条件下で需要と最終在庫を満たし、生産・在庫費用の総額を最小にする生産計画をたてる。

### Planning the production of fiberglass

グラスファイバー製造計画：

ある工場で製造しているグラスファイバーは、需要・生産能力・単位生産コスト・単位在庫コス

トのいずれも週間変動することが判っている（データがある）。需要を満たしてかつ総コスト（生産費用 + 在庫費用）を最小にする生産計画をたてる。

#### Assignment of production batches to machines

製造ロットの機械割付：

10 個のロットをそれぞれ 5 個の機械に割付けて製造する。各ロットに対応する各機械の所要処理時間と加工費用のマトリックス、および各機械の生産能力上限データを用いて、10 ロットの総加工費用を最小とするには、どのロットをどの機械で製造すればよいか。

### D . Loading and Cutting problems ( 積み込みと切断 )

#### Wagon load balancing

鉄道荷物積み込み：

重量がわかっている 16 個の荷物を、最大積載量 10000 k g の鉄道貨物車 3 台に積み込みたい。もっとも大きい積載量を最小とする積み込み方法は？ 数理計画法に先立ち、ヒューリスティックな方法（残っている荷物のうち最も重い荷物から順に、現在積載量のいちばん小さい貨車に積み込む）を試みよう。

#### Barge loading

はしけ船積み込み問題：

ライン河のはしけ船の最大容量は 1500 立方 m である。7 人の業者が小麦を運搬するが、彼らの積み込み / 積み下ろし場所は同一と仮定する。各業者の手持ちロット数とロットサイズ（容量）、単位容量当り輸送費（船賃）がわかっているとき、船頭は受取る船賃の総額を最大にしたい。

- ・業者のロットを分割して運ぶとしたらどうすればよいか。
- ・業者のロット分割が不可ならどうすればよいか。

#### Tank loading

タンク充填：

化学工場には最大容量の異なる 9 個の貯蔵タンクがあって、うち 2 個には Benzol と THF が入っているが残り空である。この時新たに運びこまれた 5 種の化学製品 ( Benzol ( 1200 t ) , Butanol ( 700 t ) , Propanol ( 1000 t ) , Styrene ( 450 ) , THF ( 1200 t ) ) を混ぜることなくタンクに充填したい。

- ・空として残るタンクの容量を最大とするには？
- ・空として残るタンクの数最大とするには？

#### Backing up files

ファイルのバックアップ：

容量 1.44 M B の F D に以下の 16 ファイルをセーブしたい。

46Kb, 55Kb, 62Kb, 87Kb, 108Kb, 114Kb, 137Kb, 164Kb, 253Kb, 364Kb, 372Kb, 388Kb, 406Kb, 432Kb, 461Kb, 851Kb

使用する F D の枚数を最小にするバックアップ方法は（コンプレストールは持っていない！）？

#### Cutting sheet metal

金属板切断：

サイズが 480 × 960 の金属板から、以下の 4 種のサイズの金属板を切出したい。

360 × 500 ( 8 ) , 240 × 360 ( 13 ) , 200 × 600 ( 5 ) , 180 × 300 ( 15 ) , () 内は必要枚数

使用する金属板の枚数を最小にするには、どのように切出せばよいか。

#### Cutting steel bars for desk legs

机脚用鋼棒の切断：

学校用机の製造会社は、机の脚にする金属棒を原料棒から切断加工している。原料棒の長さは 1.5 m と 2 m の 2 種類で、脚の長さはそれぞれ 40 ( 小 ) , 60 ( 中 ) , 70 ( 大 ) c m の 3 種類である。今注文が 108 ( 小 ) , 125 ( 中 ) , 100 ( 大 ) 本あったとき、切断口数を最小とする切出し方法は？

### E . Ground transport ( 陸上輸送 )

#### Car rental

レンタカー：

10 店舗 94 台の車をもつレンタカー会社がある。各店舗の場所は ( X , Y ) 座標近似であたえられている。今日の夕方に各店舗にある車と明日までに用意すべき車の台数があたえられているとき車の移動コストを最小にする（ = 移動距離合計を最小にする ） 移動方法を示す。

#### Choosing the mode of transport

輸送形態選択：

化学会社の 4 つの倉庫に合計 190 t の製品があり ( 50 , 40 , 35 , 65 t ) このうち 180 t を 3 つの

リサイクルセンターへ鉄道/車両の2つの方法で輸送したい。各倉庫の各リサイクルセンターへの搬入可否/輸送形態可否のマトリックスと輸送単位コストがあたえられている。このとき輸送費用最小となる方法をもとめる。

#### Depot location

配送センター配置：

12の販売店へ商品を配送するセンタの建設候補が12あり、それぞれの建設費（これは年間固定費として配賦する）最大配送能力、各販売店への配送コストマトリックス（配送可否を含む）があたえられている。すべての販売店の需要を満たして、総配送コストを最小とするにはどの配送センタからどの販売店へどれだけ配送すればよいか。

#### Heating oil delivery

熱交換オイル最適輸送：

精油所で製造される熱交換オイルを、タンクローリー車で6顧客に配送しなければならない。各顧客の需要量と距離のデータ（精油所、全顧客の距離マトリックス）があたえられたとき、全顧客に最短経路で配送するには？（顧客需要合計は59000l、タンクローリー容量は39000lで2回に分けて配送しなければならない）

#### Combining different modes of transport

輸送形態結合：

20tの貨物を5つの都市を順次経由して鉄道/陸運/空輸の3方法で輸送したい。各都市間は全貨物を1方法で輸送するが、中間都市で方法を変更することは可能である。各方法・各都市間の単位重量当り運賃と輸送方法変更による積替え費用があたえられたとき、費用最小となる輸送方法の組合せをもとめる。

#### Fleet planning for vans

レンタルトラック編成計画：

あるチェーンストアは複数の代理店からのレンタルトラックで、来るべき6ヶ月のトラック輸送の需要に対応する。初期（1月1日）手持ちは200台で、これは2月末で契約がきれる。毎月初にスタートするレンタル契約のタイプは3種類で、それぞれ3ヶ月\$1700（1台当り）、4ヶ月\$2200、5ヶ月\$2600である。最小費用であたえられた6ヶ月の需要を満たすレンタル契約は？6ヶ月後の契約残を0とすること。

## F . Air transport (空輸/航空)

#### Flight connections at a hub

航空機乗換・接続：

ドゴール空港はフランス国内各都市（ボルドー、クレモント、マルセーユ、ナント、ニース、ツールーズ）から、ヨーロッパ各都市（ベルリン、ベルン、ブルッセル、ロンドン、ローマ、ウィーン）へのハブ空港である。乗換客人数のデータ（from-> to）があたえられているとき、どの国内便をどの海外便として続けて運行したら、乗客乗換（と荷物積換）を最小にできるか。

#### Composing flight crews

乗組員編成：

8人のパイロットがいて、彼らの言語能力（英語、フランス語、オランダ語、ノルウェー語）と得意とする飛行機種（偵察、輸送、爆撃、戦闘爆撃、兵站補給）が、それぞれ0~20点で評価（査定）されている（第2次大戦中の話である）。同一言語能力および同一飛行機種の評点がともに10以上となるような2人を1組とする乗組員編成を行いたい。

- ・ 全パイロットの飛行が可能か
- ・ ある飛行機種に対する評価がともに10を超える場合は、これらの評点をすべて合計する。このとき最高の評点を獲得する組合せは？

#### Scheduling flight landings

航空機着陸スケジュール：

1滑走路に10機の航空機を着陸させる場合の最適スケジュール作成問題。航空機はすべて到着時間幅（最早~最遅）と目標時刻（Target Time）をもち、目標時刻からのずれに応じたペナルティを空港に支払うことになっている。さらに各航空機は安全のため、一定の時間間隔をもって着陸しなければならない。このデータは各機間のマトリックスデータとしてあたえられる。合計ペナルティを最小とするような着陸スケジュールを作成する。

#### Airline hub location

ハブ空港配置：

貨物輸送専門の航空会社FALの6都市間（アトランタ、ボストン、シカゴ、マルセーユ、ニース、パリ）の1日の輸送量マトリックスと各都市間の距離マトリックスがあたえられている。会社はこ

これらの空港の内2つをハブ空港として輸送コストを削減することを計画している。ハブ空港間の輸送コストは現在より20%低下することが期待できる(大量輸送の効果)。輸送コスト最小となる2つのハブ空港を決定する。

#### Planning a flight tour

ツアー計画:

東南アジアのある国における、災害救助機の最適飛行計画。首都の飛行場(A-1)を出発して、国内の他の6都市(A-2~A-7)をすべてまわりたい。全都市間の距離マトリックスがあたえられたとき飛行距離最短となる経路をもとめる。

### G . Telecommunication problems (通信)

#### Network reliability

ネットワーク信頼性:

双方向通信が可能な11のサイト(ノード)からなるネットワークの信頼性問題を、有向グラフの最大フロー問題として解く。問題の2ノード間の独立線(Disjunctive Line)がk本ならば、任意の(k-1)個のサイトがダウンしても、当該ノード間の通信路は確保されることがわかっている。目的関数はスルーット最大化。

#### Dimensioning of a mobile phone network

携帯電話ネットワークの次元決定:

携帯電話ネットワークにおいては、発呼があるとまずリレー(Relay)と呼ばれる送受信器をもつ要素単位(Cell:セル)を経由して、リング(Ring)と呼ばれるハブのネットワークに届く。ハブノードのうちの1個は、ネットワーク全体を制御するMTSO(Mobile Telephone Switching Office)である。現在の技術では、セルとリングの接続は設計時固定であり、ダイナミックに変えられない。

今10セルと5ノードハブのリングからなる、48回線のネットワークを考える。各セルとハブとの接続コストマトリックス、各セルのトラフィック、各セルのリングへの接続数があたえられたとき、接続コスト最小となるようなネットワークを設計する。

#### Routing telephone calls

経路決定発呼:

ある電話会社は最大容量(接続数)上限があるネットワーク(5都市間)を所有している。このネットワークがノード間(都市間)の接続要求にどこまで応えられるか評価する。この問題は「複数商品ネットワークフロー問題」(Multi-Commodity Network Flow; MCNF)で目的関数は、総スルーット最大である。

#### Construction of a cabled network

ケーブルネットワーク建設:

ある大学では異なる建物にある6個の端末をネットワークで結合したい。この場合ネットワークケーブルは地下に埋設することになるので、全長が最小になるように結合したい。各端末間の距離マトリックスから最適ネットワーク構成をもとめる。

#### Scheduling of telecommunication via satellite

衛星局経由の通信スケジュール:

衛星局経由のデジタル通信においては、地上局(群)と地上局(群)が衛星局を介して通信する。衛星局はSS-TDMA(Satellite-Switch Time Division Multiple Access)により、時分割で通信パケットの制御を行う。トラフィックマトリックスは、通信を行う各地上局の送信レートで決まる処理時間(秒)をその要素とする。1モードの処理時間(Duration)は最長パケットによって決まる。処理時間合計を最小とするスケジューリング方法をもとめる。

#### Location of GSM transmitters

GSM 発信基地の配置:

携帯電話会社は、14のゾーンからなる地域に発信基地を設置して出来るだけ多くの人にサービスを提供したい。基地設置が可能なのは7ヶ所で、カバーするゾーンは判明している。各基地の建設コスト、カバーするゾーン、各ゾーンの人口、総建設費上限から、提供サービス最大となる基地の建設計画をもとめる。

### H . Economics and Finance (経済と金融)

#### Choice of loans

銀行借入選択:

ロンドン/ミュンヘン/ローマの3店舗の新規開店資金を、3つの銀行からの長期融資(8年返済)で調達したい。各店舗に対する各銀行の利率と融資限度額がそれぞれ与えられた場合、最も有利な融資組合せを求めろ。

### Publicity campaign

広告キャンペーン：

6種の広告媒体（無料週間新聞、月刊誌、週刊誌、ラジオスポット、広告版、TVスポット）の潜在読者（視聴者）・広告単価・利用度上限・認知品質のデータがあるとき、総予算£250000で、認知品質の合計が最大となる各媒体の利用組合せを決定する。

### Portfolio selection

ポートフォリオ選択：

投資コンサルタントが総額£100000を、国籍・技術系/非技術系・期待ROIのデータがある6社の証券に投資するように求められている。（Japan / UK / France / USA / Germany / France）顧客の追加条件は、

- ・全証券を£5000～40000の範囲で購入する。
- ・ヨーロッパの会社に半額投資する。
- ・技術系会社へは最大30%とする。

である。この時ROI合計を最大にする組合せを求めよ。

### Financing an early retirement scheme

早期退職計画：

NAB銀行は来年以降7年間で15人の早期退職者を予定している。早期退職者には各年度に応じた退職金が支払われるが、これに応じるため3種の証券を購入予定である。各証券の購入価格、利率および償還年数が与えられている時、支出を最小にする購入組合せを求める。

### Family budget

家計：

この家計は毎月の収入と、引き落とし支出（生活費・住居費・車（以上毎月）電話（2ヶ月毎）税金（4ヶ月毎）ガス・電気（6ヶ月毎））と毎月の現金収入（手当）のデータがわかっている。この家計で毎月の娯楽費下限を保証しながら、年間娯楽費を最大にする支出計画を求めよ。

### Choice of expansion projects

拡張プロジェクト評価：

自動車製造工場における今後5年間の投資プロジェクト評価。予想収益と年間費用および年間必要資金のデータがあたえられた5つのプロジェクトから最大利益の得られるプロジェクトを決定する。プロジェクトの内容は、組立てライン拡張/主製造工程再編成/新塗装技術採用/新コンセプトカー研究/ロジスティクス再編成である。

### Mean variance portfolio selection

ポートフォリオ選択の平均偏差：

四種の異なるタイプの証券（ハードウェア/ソフトウェア/ショービジネス/米国国債）への投資行動最適化。前二者は正の相関、ショービジネスはこれらと負の相関がある（テレビゲームが流行ると劇場へは行かなくなる）。米国国債はいずれとも相関なし。予想リターンと分散・共分散マトリックスがあたえられた場合、以下の2ケースの投資シナリオを求める。

- ・最小保証リターンを確保して、分散を最小化
- ・最大2個の証券に投資する場合、分散最小化の組合せを求める。

これらはそれぞれQP/MIQP問題となる。（目的関数2次、制約1次の2次計画法）

## I . Timetabling and personnel planning（時間割と人員配置）

### Assigning personnel to machines

機械への人員配置：

6人の作業者がそれぞれ6台の機械全部について作業をした場合の、時間当たり生産個数のデータがある（6×6の生産性マトリックス）。

- ・それぞれ1台の機械で（1回の作業で）製品が完成するとして（並列作業）、時間当たり生産個数を最大にしたい。

ヒューリスティック：つまり全体のマトリックス要素のうち大きいものから順に機械に割付けてゆく方法および、数理計画モデルによる解を比較せよ。

- ・製品は6台の機械をすべて順に経由して完成する場合（直列作業）、生産（製品）個数を最大にする割付け方法は？

### Scheduling nurses

看護婦スケジュール：

ある病院の看護婦要員数は、1日の時間帯（2H×12コマ）によって異なる。看護婦は1日8時間労働（4H 2H休憩 4H）として、1日の要員を確保するには最低何人の看護婦が必要か。また、病院には80人の看護婦しかいない場合、何人の看護婦に2Hの超過勤務をせよ

員数を確保できるか。(最後の4H勤務後休憩なしで2Hの超過勤務をする)

#### Establishing a college timetable

大学時間割作成:

7教科を9人の教師で(数学と体育は2人の教師、あとは1人1教科)2クラスに教える学校の時間割作成。1週間の総コマ数は両クラスとも20(1日4時限×5日)で、このうち15コマが授業に使われる。体育は木曜3時限固定、月曜1時限は宿題チェックで予約、一部の教師は特定曜日(の特定時限)の授業は不可、1日に同一教科を複数回繰返すことは不可などの制約がある。各クラスの時間割は?目的関数は空白コマ(Hole:1/4時限に授業があり、2/3時限にない)最小とする。

#### Exam schedule

試験のスケジュール:

ある工科大学3年生は、必須4科目、選択4科目(全7科目から)の単位取得が義務づけられている。期末には2日間、8コマ(4コマ×2日)の試験が実施される。必須科目はもちろん、選択科目でも試験時間の競合を避けなければならない組合せがわかっている。この競回避マトリックスから試験スケジュールを作成する。(解の数は多いので新たな制約を追加する)

#### Production planning with personnel assignment

人員割当のある製造計画:

4つの製品を、生産能力(加工時間)上限のある5つのラインで生産する。各製品の1個当たり限界利益、ライン毎の単位加工時間のデータから、どの製品をどれだけどのラインで製造したら合計利益が最大となるかもとめる。余力のあるラインの人員を他ラインに転用することによって生産能力アップが可能とするとどうなるか。

#### Planning the personnel at a construction site

建設現場の人員配置:

ある建設現場では月単位での要員の移動がおこる。雇用時と解雇時に1人当たりそれぞれ\$100、\$160の費用が発生し、必要要員が確保できなかった場合は残業でカバーするが、残業時間は25%増しか認められない。組合が毎月最大3人までの人員派遣を保証し、月末での他現場への移動は、組合により総員の1/3までと決められている。2月末の人員、3~8月までの必要要員、8月末に残ることが確定している人員のデータから、総コストを最小とする毎月の雇用計画をもとめる。

## J . Local authorities and Public services (地方公共団体と公共サービス)

### Water conveyance / water supply management

水道供給管理:

2つの水源地から、互いに給水管によって結合した5つの給水ステーションを経由して、3つの市へ水道が供給される。各水源の単位時間流量、給水管容量があたえられたとき、時間当たり流量合計を最大にするにはどのように給水すればよいか。またこの場合、各市の水需要を満たすことができるか。

### CCTV surveillance

監視カメラ設置:

犯罪防止のため地域全体をカバーするように監視カメラを設置したい。カメラの設置可能箇所は曲り角ないし交差点に決まっていて、設置されたカメラは360度方向すべての道路を監視できる。直線監視距離の制限はない。このとき最小の設置数で地域全体を監視するにはどこに設置したらよいか。

### Rigging elections

インチキ選挙区:

遠い国の権力者が、自分に有利なように選挙区を再構成したい。現在14の地区があり、それぞれの地区における支持者/有権者数の情報(推定)は判っている。かれは最終的に過半数の選挙区で勝てばいいから、勝てる見込みのない選挙区は統合したい。ただし統合は近接していることが必須であり、飛び島の選挙区は認められない。また彼の居住する地区は必ず勝たなければならない。最終的に5選挙区として、彼の陰謀は成功するか。6選挙区のばあいはどうか。

### Gritting roads

道路巡回:

ある村では道路凍結時、危険防止のためトラックが砂利を全道路に散布する。トラックは必要とされる全砂利を1台に積めるが、一方通行の道もある。また二車線の道は両方向について散布しなければならない。全道路と交差点、車線(方向)および交差点間距離データがあたえられたとき、トラックの運行距離を最小にする散布ルートをもとめる。(重複運行は避けられない)

### Location of income tax offices

納税オフィス配置：

12 の市がある地域において、3 市を選んで所得税納税局を設置したい。各市を相互に結ぶ主要道路とその距離、および各市の納税人口があたえられている。納税支払に行く距離（1 人当り平均距離）を最小にするにはどの市に設置したらよいか。

#### Efficiency of hospitals

病院効率化：

パリの4つの外科病院を、「DEA法」により評価する。これらの病院の、医療業務担当者以外の人員、一般支出、ベッド数、および医療サービスに関する4つの指標（入院患者数、外来患者数、当番看護婦数、当番インターン・医師数）を用いて最も効率的な病院を決定する。（DEA法では、架空の病院と評価対象の病院を数理計画法で比較する。詳細略）

- 以上 -