II-78　貯水池システムの安定なリスポンスを得る為のDCL手法の改善

東京工業大学　正会員　吉川秀夫
〃　　〃　竹内邦良
○ 水資源開発公団　　上村寿一

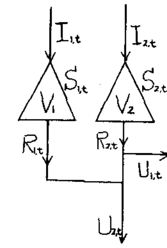
はじめに

本報告は先に発表されたDCL（Dynamic Programing Coupled with Linear Programing）手法[1]による貯水池群の最適操作問題の解の特徴を調べ，その不備の一つに注目し，その原因を明らかにするとゝもに対処すべき方法を論じたものである。貯水池群の最適操作を需要に対する供給の不足により生じる損失を最小化する操作とすることゝし議論を進める。これから述べる改善策は今のところ目標関数との関係を直接明らかにしたものではないが，将来は計算時間とのかねあいを持たせた上で，期待損失の最小化という目標と最大損失の最小化（mini-max）という目標を合わせた二元的目標関数の定式化と，その問題を解く手法として一般化して行く上での重要な糸口となるものと考えている。

DCL手法による解の問題点

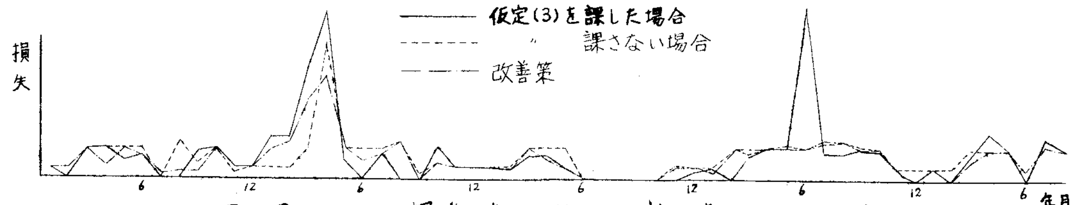
DCL手法は貯水量，供給量の空間的配分の最適化の問題をLPを用いて解き，時系列配分の最適化の問題をDPを用いて解くことにより，現実に複雑さを有する確率的多段階決定問題を迅速かつ精度良く解くことを可能にするものである。 ところでDCL手法に導入される仮定は次のとおりである。（1）給水不足による損失は凹型の折れ線で近似できる。（2）累加最小期待損失関数が貯水量に関して凹型の折れ線で近似できる。（3）システムが最適に操作されている状況の下では，一つの貯水池（貯水池 i ）の貯水量がある区間にある時，他の貯水池の貯水量は貯水池 i がその区間の貯水量であることを条件とした期待状態にある。（4）DPを適用する為の状態変数（貯水量及び貯水池への流入量）の離散量化はシステム解析上重大な誤差を生じないように行うことができる。ここに（1），（2）はLPを用いる為に欠かせぬ仮定であり，（4）はDPを用いる為に必須の仮定である。従って，ある程度の自由度が残されているものは（3）の仮定しかない。この研究は仮定（3）の微調整による解の適性化を図ったものである。

先ず仮定（3）の解の性質に与える影響を図－1に示すような簡単な二貯水池システムを用いて定性的に調べた。その為，（3）の仮定を課さない場合と課す場合の比較を行うといった手法を用いた。当然のことながら，仮定が言えることは計算上は大巾な時間削減となるが，ある程度の解の精度の低下が予想される。この理由については既報[2]を参照されたい。



図－1　貯水池システム

計算の条件として，（i）時間単位として月をとる，（ii）貯水量，流入量はそれぞれ4個及び3個の離散量として扱う，（iii）U_{1t}, U_{2t}に関する損失関数はそれぞれ2pieces及び4piecesの折れ線で近似する，という事とする。計算より求められた各々の場合の最適操作によりシュミレーションした場合の損失時系列の一例を図－2に示す。又，需要水準及び貯水池容量を種々変化させた5つのケースを表－1に記す。ここで損失の単位はどうとっても議論の本質には拘らない。図は一例しか示さなかったが他のケースについても同様の傾向であった。これらの図，表より明らかなように，平均損失に関しては仮定（3）を課した場合の方が一般的にやや多目となってはいるものの，殆ど差は認められず，仮定（3）を課すことによる計算時間の大巾削減を考慮すれば，その有用性は十分頷ける。然しながら変動係数について見れば，場合によっては仮定（3）を課した方が2倍以上の値となっている。このことは月損失の偏差が大きい事



図－2　　損失時系列の比較(表1のケース2)

を示す。損失に大きな値を与える事は経済的，政治的に好ましくない状況となり，仮定（３）を課すことの大きな不利と考えねばならない。

表－1　損失

	ケース内要	月平均損失	変動変数
1	D/S=1.0 V/S=1.5	1.88 (2.05)	3.15 (3.19)
2	D/S=1.2 V/S=2.1	7.99 (8.12)	0.74 (1.31)
3	D/S=1.5 V/S=2.7	22.93 (23.33)	0.80 (1.02)
4	D/S=1.2 V/S=1.5	8.20 (8.67)	1.05 (2.12)
5	D/S=1.2 V/S=2.7	7.75 (7.58)	0.52 (1.35)

備考　(　)内は仮定(3)を課した場合の値
D/S: 平均需要と平均供給の比
V/S 貯水池容量と月平均供給量の比

表－2　改善策の損失(ケース2)

月平均損失	変動係数
7.47	0.77

改善策

仮定（３）の内容を明確にしておくこととする。t期における貯水池iの貯水量S_{it}が連続した２つの離散量を各々上限，下限に持つ区間 I_k，すなわち〔S_i^k, S_i^{k+1}〕に属する時，同期の貯水池pの貯水量S_{pt}は条件付期待貯水量$E\,S_{pt}\,|\,S_{it}\in$〔S_i^k　S_i^{k+1}〕であるとする。この値は実際にシュミレーションした結果により求めるのであるが，上記の比較計算では条件付貯水量の平均値で与えた。そしてこれはシステムが最適操作されている場合の値であるから，適当な値から始めてシュミレーションの繰り返し計算により収束に導かれるものであるが，最適操作が決定した段階でこの仮定が満足されているかどうかチェックすると，どの貯水池においても結構良い一致性を示すことが確認されている[2]。ところで期待状態を平均値で与えた仮定（３）を導入することが前述のような不備を持つに至る過程は次のように考えられる。すなわち他の貯水池の条件付期待貯水量を多目に推定しているため貯水池の水の価値が安く算定されることとなる。その結果低廉な需要に対しても供給し，貯水量を少な目に維持する為，渇水が長期に亘り続く場合に高価な需要に対しても供給できず大打撃を被る事となるからであろう。この原因は次のように考えられる。条件付貯水量の分布が対称な場合は平均値は50%非超過確率値であるが，正の歪度を持っている場合，平均値は70%非超過確率値とかの大きな非超過確率値をとるという事。又，実際の操作における貯水量時系列は，ある程度連続して条件付期待貯水量より少ない状態が続く事が考えられ，しかも流入量が平均より少ない状態とかち合えば，50%値を用いても大きい損失を出してしまうという事である。このような事情に鑑み，大きい損失を与えないためにはこの期間の操作をうまくすれば良い事であるから，条件付貯水量が条件付期待貯水量より少ない状態をなくすという考えに基き，条件付平均貯水量の代りに条件付最低貯水量を採用する考えを導入した。その計算結果を図－２に一点鎖線で示し，表－２に損失値を記した。これを前述の比較計算と見比べると，平均損失では仮定（３）を用いない場合よりもさらに小さく，変動係数ではやや大きいが標準偏差ではやや小さくなるといった良好な結果となっている。

まとめ

条件付最低貯水量を用いて計算した結果が１ケースのみであることと，仮定（３）を用いるには短い18年間の月別シュミレーションの結果であるので，この正当性は必ずしも確立されたとは言えないが，条件付期待貯水量を用いた保守的な操作ルールの導き方でも良い結果を求められる事を明らかにした事は評価されるであろう。

1）竹内邦良　貯水量の累加損失係数を用いた貯水池群の最適操作手法，土木学会論文報告集 222号 1974
2）上村寿一　ＤＣＬ手法中の累加損失係数の求め方に関する考察，東京工業大学卒業論文 1974