

京都大学大学院 学生員 ○川人健二  
 京都大学工学部 正会員 住友 恒  
 厚生省水道環境部 正会員 坂本弘道

### 1. はじめに

本研究の目的は、第1に漏水と水立現象の関係を探り、漏水を示す指標をみつけることであり、第2にその指標を用いて漏水予測が事前にできるかを考察することにある。そのため本研究では、自然水の移動を時系列的に知るために、福岡市室見川水系曲判ダムを研究地域に選<sup>1)</sup>び、降雨流出モデルとして直列貯留型4段タンクモデルを作成し、さらに曲判ダムを1つのタンクとしたダムモデルを考え、この2つのモデルを用いて大正6年から昭和54年までの日降水量をデータとする63年間の経日シミュレーションを行<sup>2)</sup>った。

### 2. 漏水予測指標としての貯水量

本研究において漏水とは、昭和35年から昭和53年の間に給水制限を実施した事業体について厚生省が調査したものをいい、特に本研究では、福岡市において報告されたものをいう。

月別漏水発生回数と、降水量およびシミュレーション結果で得られたダム流入量・貯水量の毎年最小値が発生している月別頻度は、図-1のヒストグラムようになった。漏水発生の集中期間(6月から9月)と各水立指標の分布状態との相異、および各々の水立指標を用いてのトーマス・アロット<sup>3)</sup>での考察から、6月から9月までという毎年一定期間から選んだ貯水量が、漏水を示す場合に感度のよい指標であることがわかった。次に、降水量・流出量・貯水量の間の関係を知るために、相互相関係数を計算した結果、降水量から近似的に貯水量を推定予測できることがわかり、さらに、現在の降水量は、1.5日から3日後の貯水量を支配していることがわかった。

### 3. 貯水量の推移確率

漏水発生確率を示す指標として貯水量は感度がよい指標であることがわかったので、将来の貯水量の推移が予測できれば漏水発生を事前に知

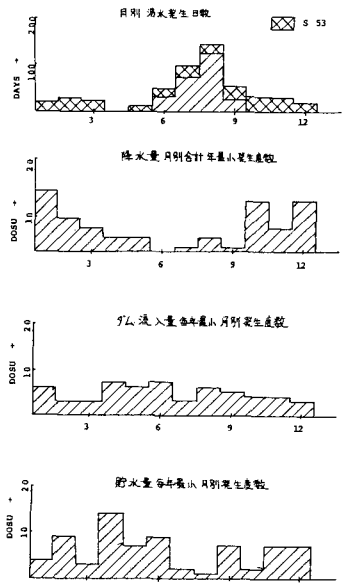


図-1 月別発生回数ヒストグラム

ることができると。さらに、その貯水量は1.5日から3日前の降水量によって支配されているので、現在の降水量を知ることによって貯水量を媒介として漏水予測ができるはずである。

図-2は、現在の降水量で分類した20日後の貯水量の分布を調べたものである。縦が現在の降水量、横が20日後の貯水率を示している。この分布図から、降水量120%以

図-2 降水量で区別した20日後の貯水量分布図

| 現在月            | 10.0 | 20.0 | 30.0 | 40.0 | 50.0 | 60.0 | 70.0 | 80.0 | 90.0 | 100.0 | 110.0 |
|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| 0.0 - 10.0     | 2    | 1    | 7    | 4    | 5    | 3    | 9    | 15   | 22   | 32    | 37    |
| 10.0 - 20.0    | 1    | 1    | 3    | 4    | 4    | 3    | 5    | 12   | 19   | 29    | 31    |
| 20.0 - 30.0    | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 30.0 - 40.0    | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 40.0 - 50.0    | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 50.0 - 60.0    | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 60.0 - 70.0    | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 70.0 - 80.0    | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 80.0 - 90.0    | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 90.0 - 100.0   | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 100.0 - 110.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 110.0 - 120.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 120.0 - 130.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 130.0 - 140.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 140.0 - 150.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 150.0 - 160.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 160.0 - 170.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 170.0 - 180.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 180.0 - 190.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 190.0 - 200.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 200.0 - 210.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 210.0 - 220.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 220.0 - 230.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 230.0 - 240.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 240.0 - 250.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 250.0 - 260.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 260.0 - 270.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 270.0 - 280.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 280.0 - 290.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 290.0 - 300.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 300.0 - 310.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 310.0 - 320.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 320.0 - 330.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 330.0 - 340.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 340.0 - 350.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 350.0 - 360.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 360.0 - 370.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 370.0 - 380.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 380.0 - 390.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 390.0 - 400.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 400.0 - 410.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 410.0 - 420.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 420.0 - 430.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 430.0 - 440.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 440.0 - 450.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 450.0 - 460.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 460.0 - 470.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 470.0 - 480.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 480.0 - 490.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 490.0 - 500.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 500.0 - 510.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 510.0 - 520.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 520.0 - 530.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 530.0 - 540.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 540.0 - 550.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 550.0 - 560.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 560.0 - 570.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 570.0 - 580.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 580.0 - 590.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 590.0 - 600.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 600.0 - 610.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 610.0 - 620.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 620.0 - 630.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 630.0 - 640.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 640.0 - 650.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 650.0 - 660.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 660.0 - 670.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 670.0 - 680.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 680.0 - 690.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 690.0 - 700.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 700.0 - 710.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 710.0 - 720.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 720.0 - 730.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 730.0 - 740.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 740.0 - 750.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 750.0 - 760.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 760.0 - 770.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 770.0 - 780.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 780.0 - 790.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 790.0 - 800.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 800.0 - 810.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 810.0 - 820.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 820.0 - 830.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 830.0 - 840.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 840.0 - 850.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 850.0 - 860.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 860.0 - 870.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 870.0 - 880.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 880.0 - 890.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 890.0 - 900.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 900.0 - 910.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 910.0 - 920.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 920.0 - 930.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 930.0 - 940.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 940.0 - 950.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 950.0 - 960.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 960.0 - 970.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 970.0 - 980.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 980.0 - 990.0  | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |
| 990.0 - 1000.0 | 1    | 1    | 2    | 3    | 4    | 3    | 6    | 12   | 22   | 33    | 35    |

注) 降水量は、10日ごとの合計値、AV=44.2mm  
 に対する比[%]  
 貯水量は、満水2608000m<sup>3</sup>に対する比[%]

下では、貯水率が0%から越流まで広く分散しているのに対し、120%以上では、ほとんど90%から越流までの満水に近い状態に集中していることが読みとれ、漏水問題を扱う本研究においては貯水量120%以下の場合の貯水量分布状態が重要であると考ええる。そこで貯水量120%以下の場合について貯水量の分布を時系列の側面から見た貯水量の履歴と

表-1 (1) 降水量で区分した10日間での貯水量の推移

というべき推移を調べてみたのが表-1(1)~(3)である。

この表は、縦が現在の貯水率を、横がどれから日後の貯水率を示し、(1)~(3)の

順にて=10,20,30日の推移を、表中の度数は7日の間に縦の貯水率から横の貯水率に推移があった回数を示している。例えば表-1

(1)の下から3行目は、現在の貯水率が80~90%であったことがその行の和から94回とわかり、現在の貯水率

を越さない非超過確率はその行の0~90%の度数の和65から65/94で0.7と計算される。以上のような計算で確率的に将来の貯水率推移が予測できるので、この非超過確率を用いて漏水予測ができる。表-2は、この非超過確率を計算したものである。縦が現在からの隔り時間(7日)、横が貯水率で例えば7=30日、貯水率40%の数字0.76は、現在30~40%の貯水率のダムが30日後に貯水率を増加させている見込みがない確率が76%あることを示している。この表から、現在の貯水率がどのような場合でもほとんど将来その貯水率はさらに小さくなる傾向にあることがわかる。このことは言いかえると、ダム管理上きびしい値を示していると考えられる。

#### 4. 推移確率を用いた漏水予測

通常現在の貯水量を将来上まわるか下まわるかは五分五分と考えがちなことに対し、表-2は下まわる可能性の方が大きいことを示しているの、例えばある水道事業体の上水専用ダムの貯水率が現在60%であるとしたらこの表から30日たつてもこの貯水率が改善されない確率が約60%とわかるので、このままでは貯水率が減少し続け漏水が発生する可能性があると考えられ、事前に広報活動やダム管理等の対策を講じて漏水発生を少しでも防止するよう努めることになる。

#### 5. おわりに

本研究では水文現象として漏水を見る場合の指標として6月から9月までの貯水量感度のよいものであることを示し、さらにこの貯水量を用いて漏水を事前に予測できることを示した。特に経験と勘で行っていた従来の漏水予測に対し、貯水量の推移確率を用いたある種の合理性を持った予測法を示した。しかし、本研究は福岡市の一ダムだけのケースであり、数字の絶対性及び全国の漏水に適用できるかは研究中である。最後に本研究に当り京都大学工学部原沢英夫助手から種々助言を得たことに謝意を表す。参考文献 ①菅原正巳：流出解析法 ②福岡市水道局；福岡市水道局文庫資料 ③山村勝美；日本水道協会雑誌(54.7) ④川入健二：上水道のための漏水予測に関する研究 京都大学 建築学雑誌(53.7)

(2) 降水量で区分した20日間での貯水量の推移

| RAIN < 120 %  | 0.0 | 10.0 | 20.0 | 30.0 | 40.0 | 50.0 | 60.0 | 70.0 | 80.0 | 90.0 | 100.0 | 110.0 |
|---------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| 0.0 - 10.0    | 7   | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     | 0     |
| 10.0 - 20.0   | 3   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     | 0     |
| 20.0 - 30.0   | 1   | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     | 0     |
| 30.0 - 40.0   | 0   | 1    | 6    | 14   | 6    | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0     | 0     |
| 40.0 - 50.0   | 0   | 0    | 0    | 8    | 11   | 1    | 1    | 2    | 2    | 1    | 0     | 0     |
| 50.0 - 60.0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 7    | 1    | 2    | 2    | 0    | 0    | 0     | 0     |
| 60.0 - 70.0   | 0   | 0    | 1    | 1    | 0    | 9    | 11   | 7    | 1    | 0    | 0     | 0     |
| 70.0 - 80.0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 13   | 15   | 8    | 6    | 0     | 0     |
| 80.0 - 90.0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 1    | 2    | 2    | 1    | 18   | 41   | 27    | 2     |
| 90.0 - 100.0  | 0   | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 2    | 0    | 50   | 325   | 50    |
| 100.0 - 110.0 | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 83   | 300   | 0     |

(3) 降水量で区分した30日間での貯水量の推移

| RAIN < 120 %  | 0.0 | 10.0 | 20.0 | 30.0 | 40.0 | 50.0 | 60.0 | 70.0 | 80.0 | 90.0 | 100.0 | 110.0 |
|---------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| 0.0 - 10.0    | 7   | 0    | 0    | 0    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     | 0     |
| 10.0 - 20.0   | 3   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     | 0     |
| 20.0 - 30.0   | 2   | 2    | 4    | 3    | 1    | 1    | 1    | 0    | 0    | 0    | 0     | 0     |
| 30.0 - 40.0   | 0   | 1    | 6    | 10   | 9    | 0    | 2    | 0    | 0    | 1    | 0     | 0     |
| 40.0 - 50.0   | 0   | 0    | 2    | 6    | 5    | 1    | 1    | 1    | 4    | 3    | 3     | 0     |
| 50.0 - 60.0   | 0   | 0    | 0    | 3    | 5    | 1    | 0    | 1    | 1    | 0    | 1     | 0     |
| 60.0 - 70.0   | 0   | 0    | 1    | 1    | 6    | 8    | 8    | 5    | 2    | 11   | 3     | 0     |
| 70.0 - 80.0   | 0   | 0    | 0    | 1    | 0    | 2    | 14   | 5    | 6    | 2    | 1     | 0     |
| 80.0 - 90.0   | 0   | 0    | 0    | 0    | 3    | 1    | 1    | 8    | 20   | 18   | 32    | 10    |
| 90.0 - 100.0  | 0   | 1    | 1    | 2    | 1    | 2    | 3    | 7    | 68   | 249  | 64    | 0     |
| 100.0 - 110.0 | 0   | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 0    | 114  | 269   | 0     |

表-2 貯水量推移非超過確率

| 7  | rain < 120% の時 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|----|----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|    | 10             | 20   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70   | 80   | 90   | 100  |
| 10 | 0.75           | 1.00 | 0.64 | 0.72 | 0.73 | 0.67 | 0.72 | 0.67 | 0.69 | 0.89 |
| 20 | 0.58           | 0.80 | 0.57 | 0.66 | 0.50 | 0.67 | 0.61 | 0.52 | 0.55 | 0.81 |
| 30 | 0.42           | 0.60 | 0.50 | 0.76 | 0.38 | 0.58 | 0.52 | 0.43 | 0.51 | 0.76 |