

すべてのシミュレーションでの結果^{*1}

ここでは、深層学習モデルによる熱力学法則の発見の例証のうち、エントロピー増大則、公理 1 (反射律)、公理 5 (分割性と結合性) において、すべてのテストに使用したシミュレーションの結果を載せる。

^{*1} この文書はクリエイティブ・コモンズ 4.0 表示-非営利-改変禁止 (CC BY-NC-ND 4.0) で提供する。

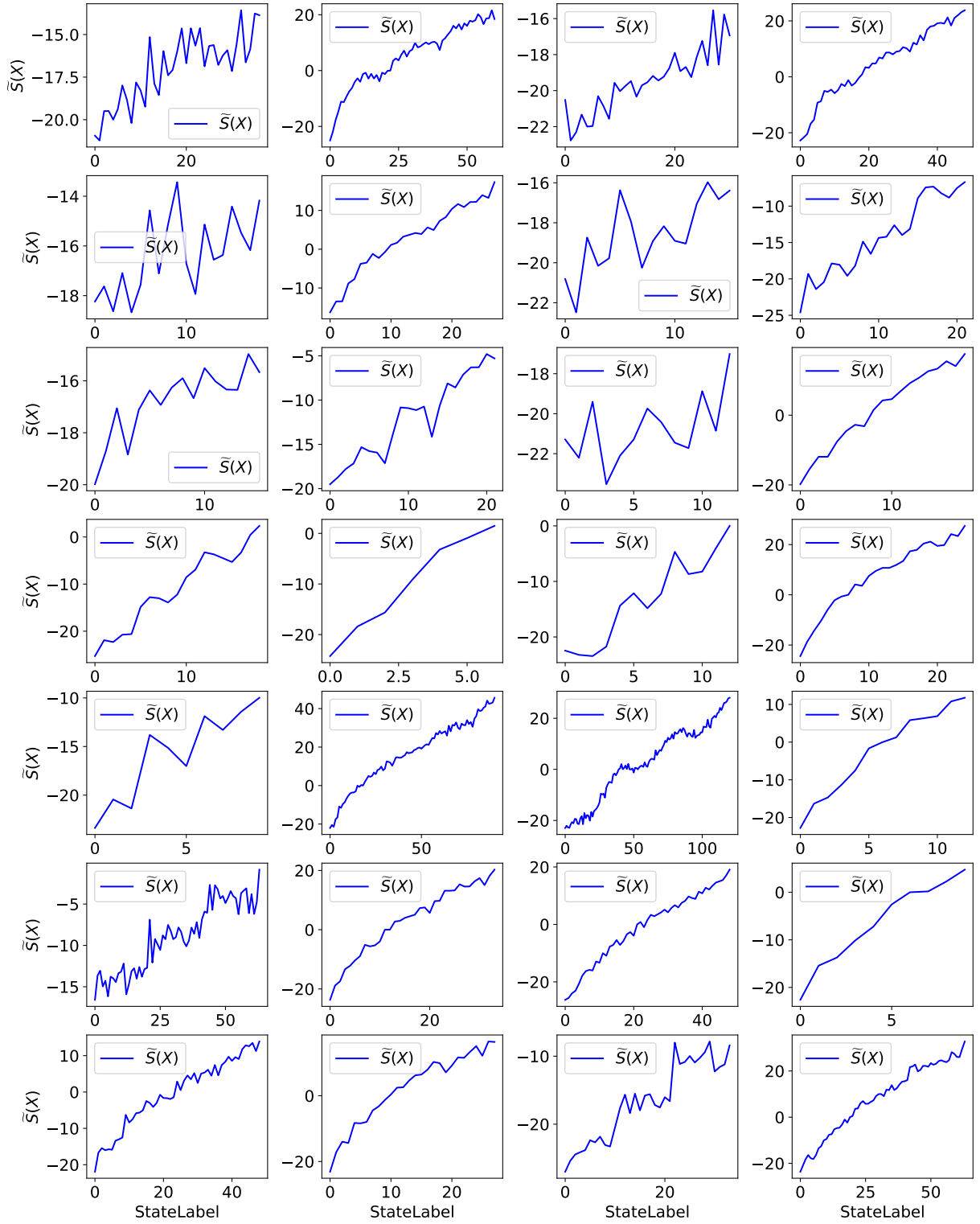


図 1: エントロピー増大測のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. $\tilde{S}(X)$ は概ね StateLabel の単調増加関数であることがわかる.

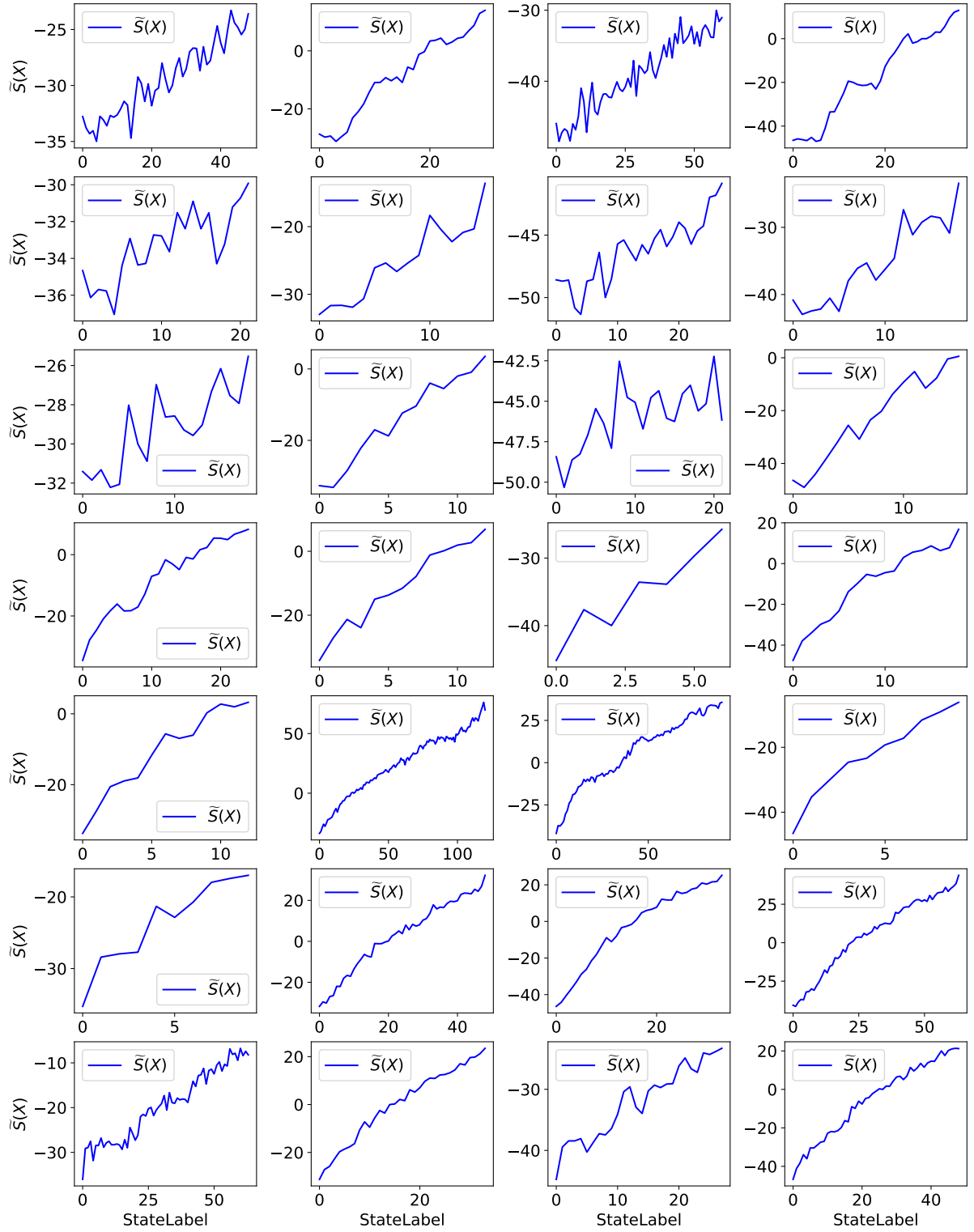


図 2: エントロピー増大測のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. $\tilde{S}(X)$ は概ね StateLabel の単調増加関数であることがわかる.

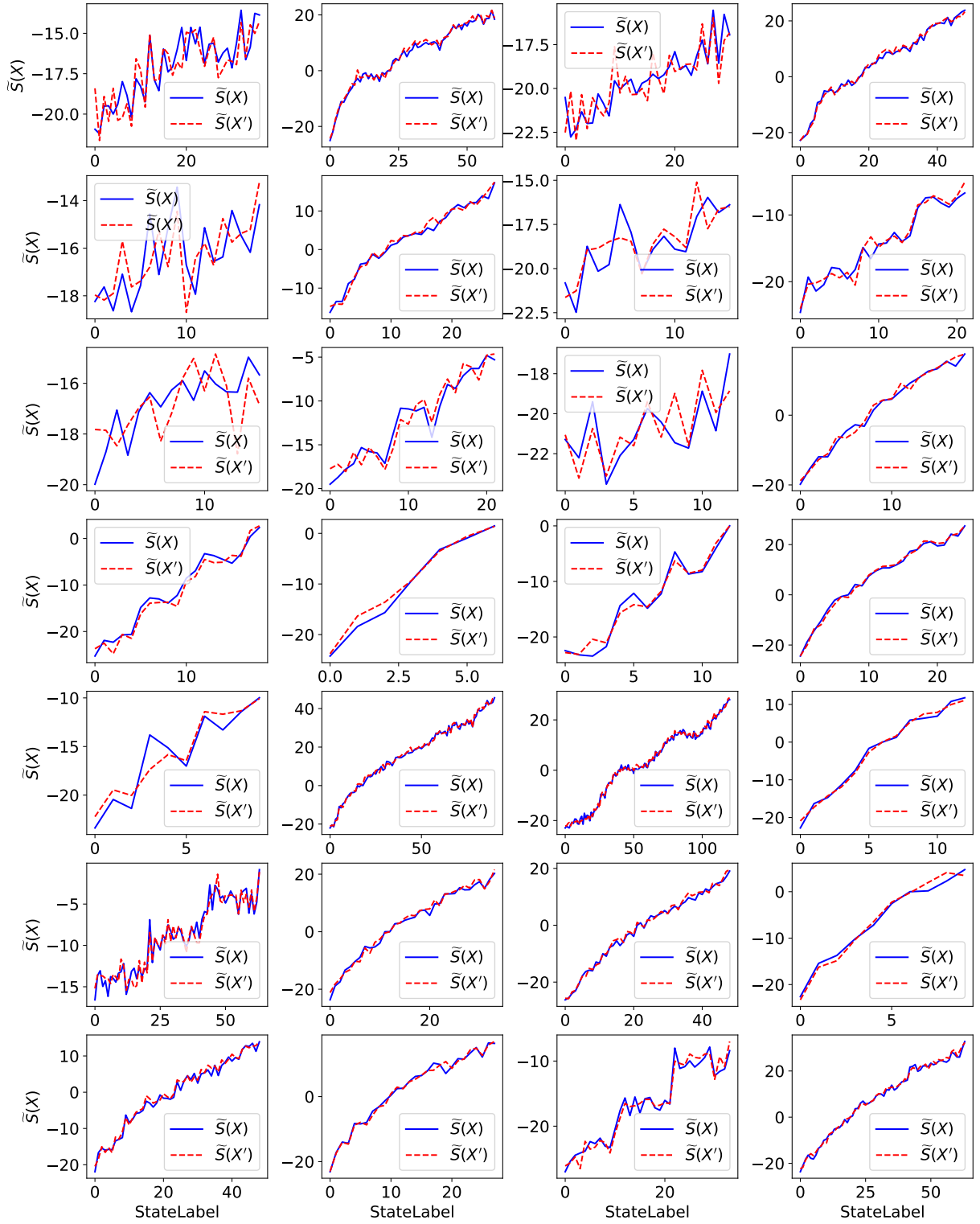


図 3: 公理 1, 反射率のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像を 90 度回転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

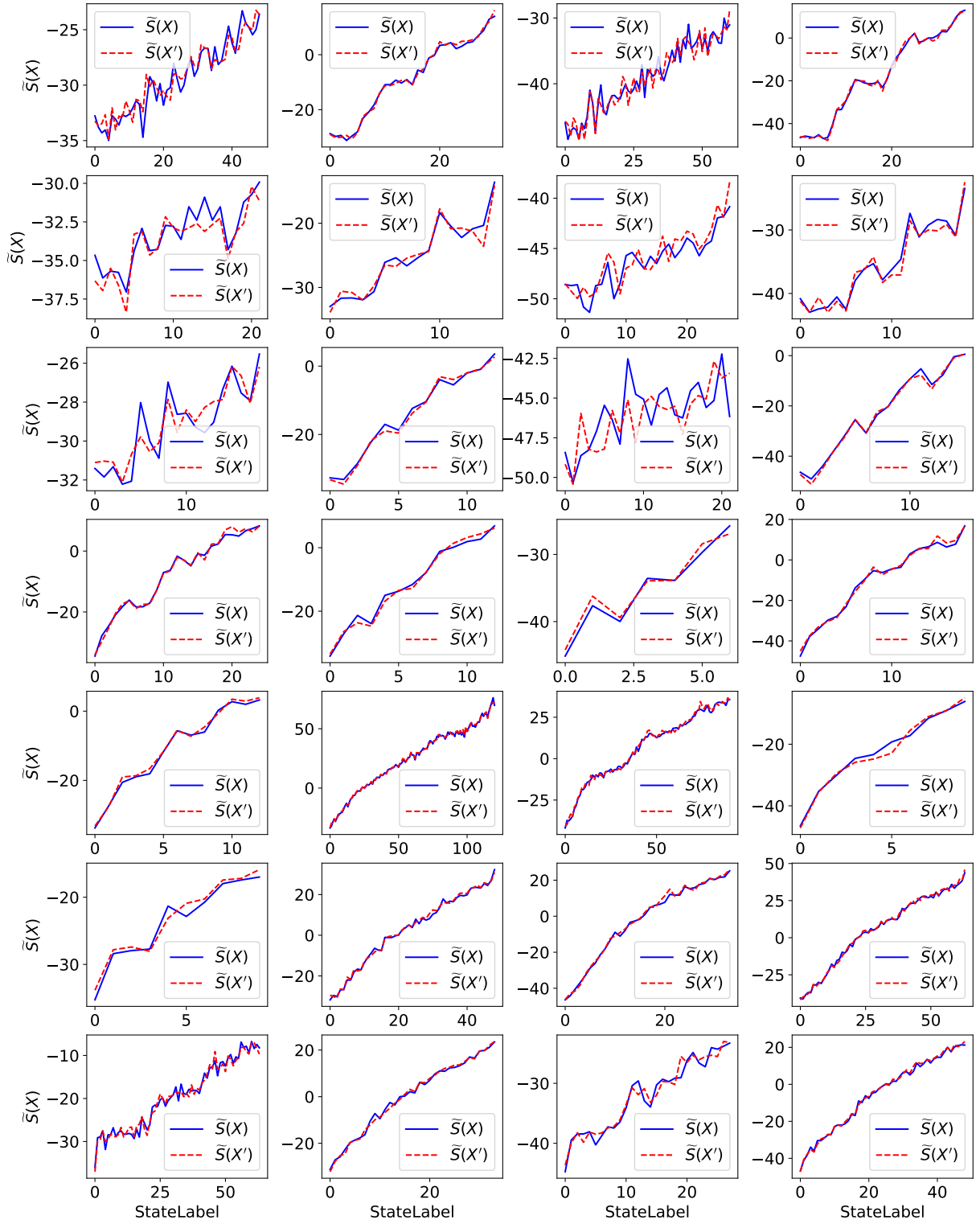


図 4: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像を 90 度回転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

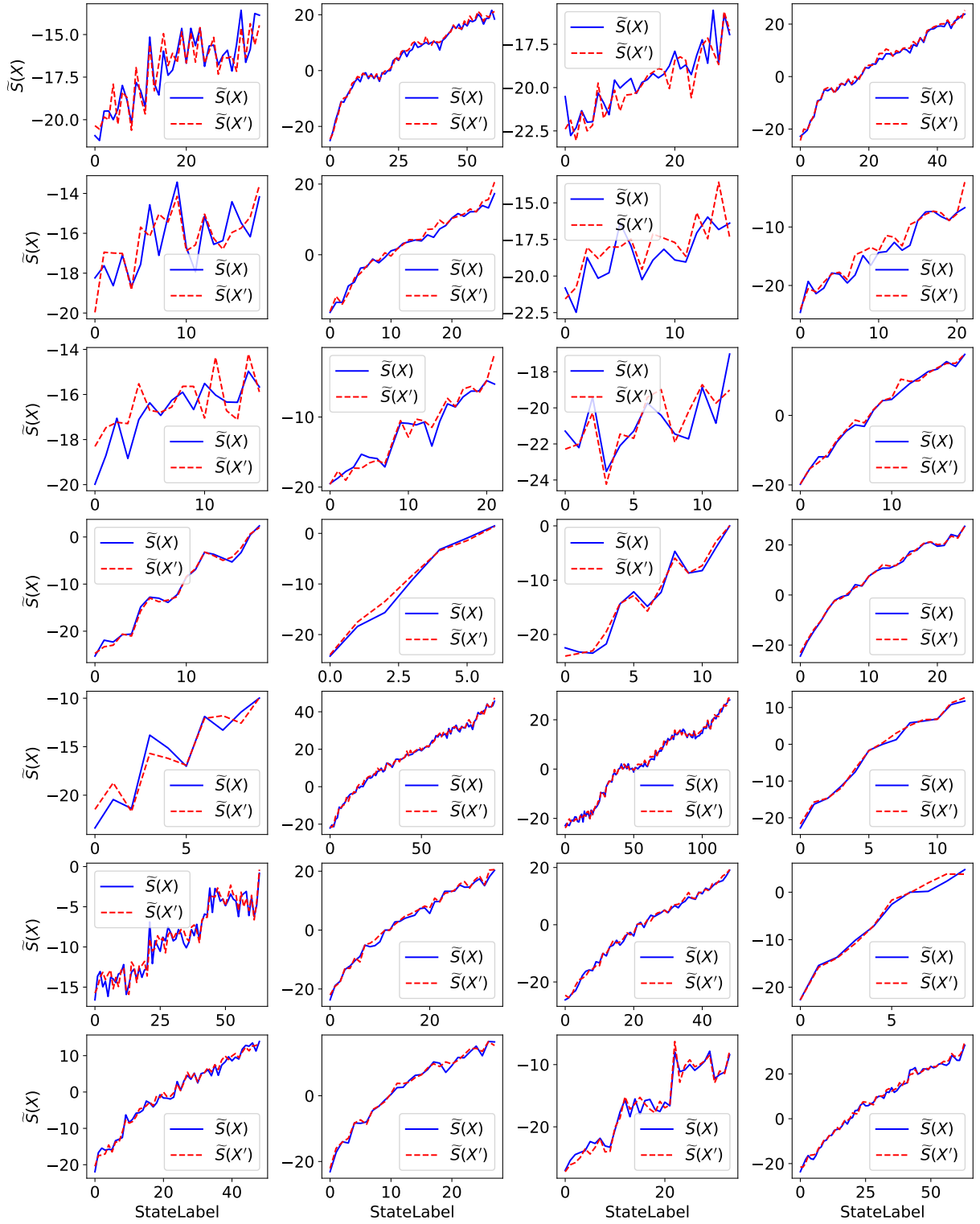


図 5: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像を 180 度回転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

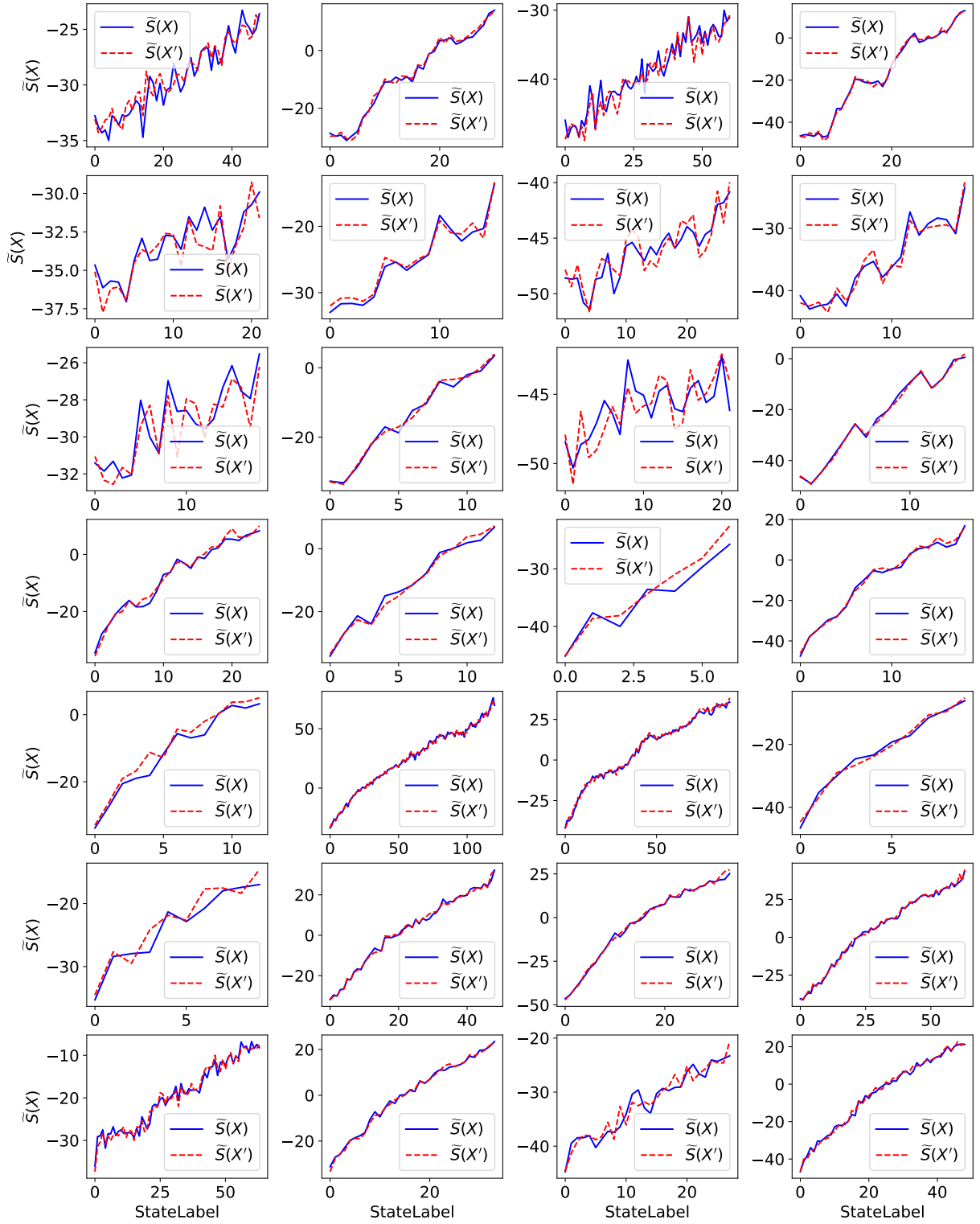


図 6: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像を 180 度回転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

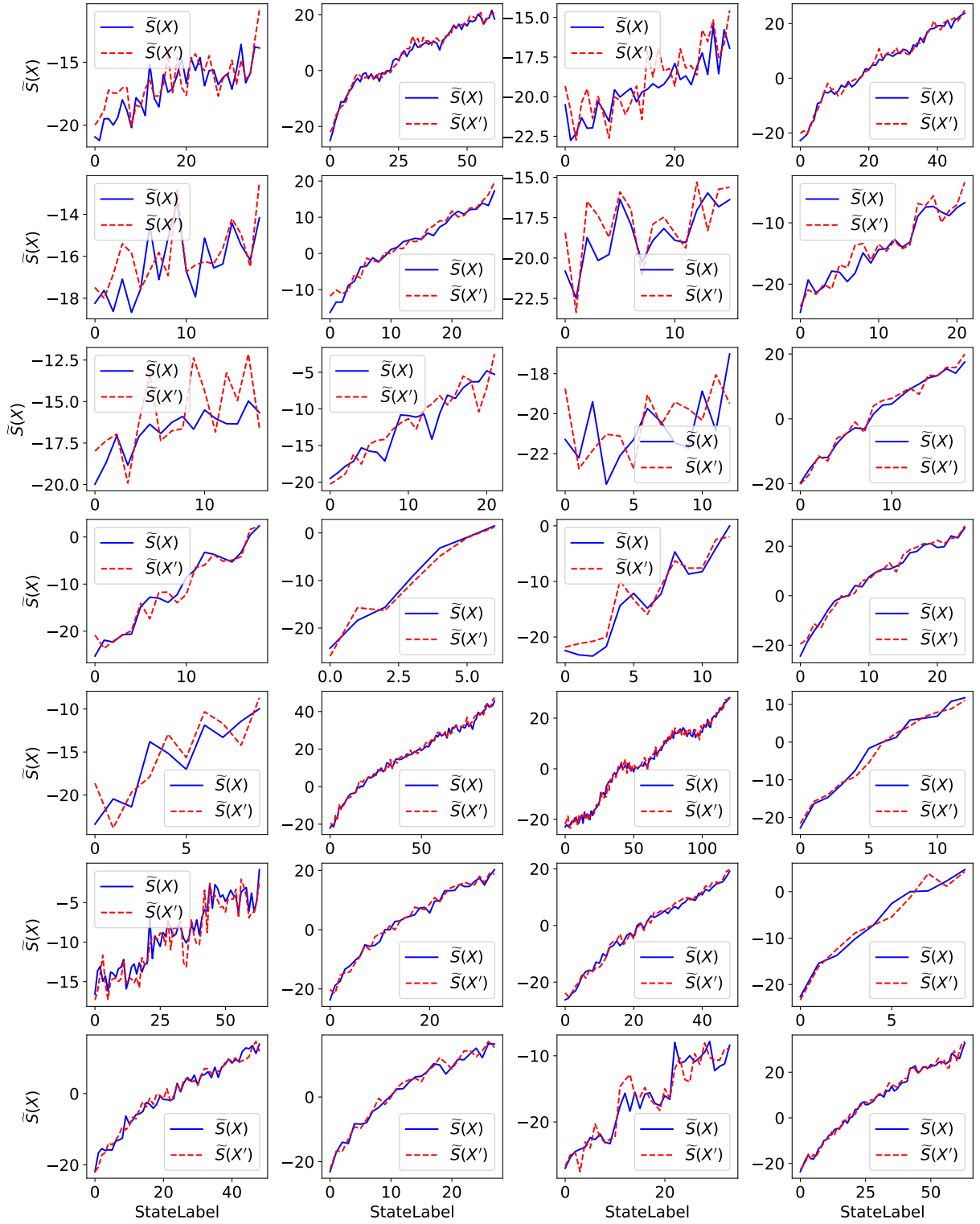


図 7: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像を 270 度回転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

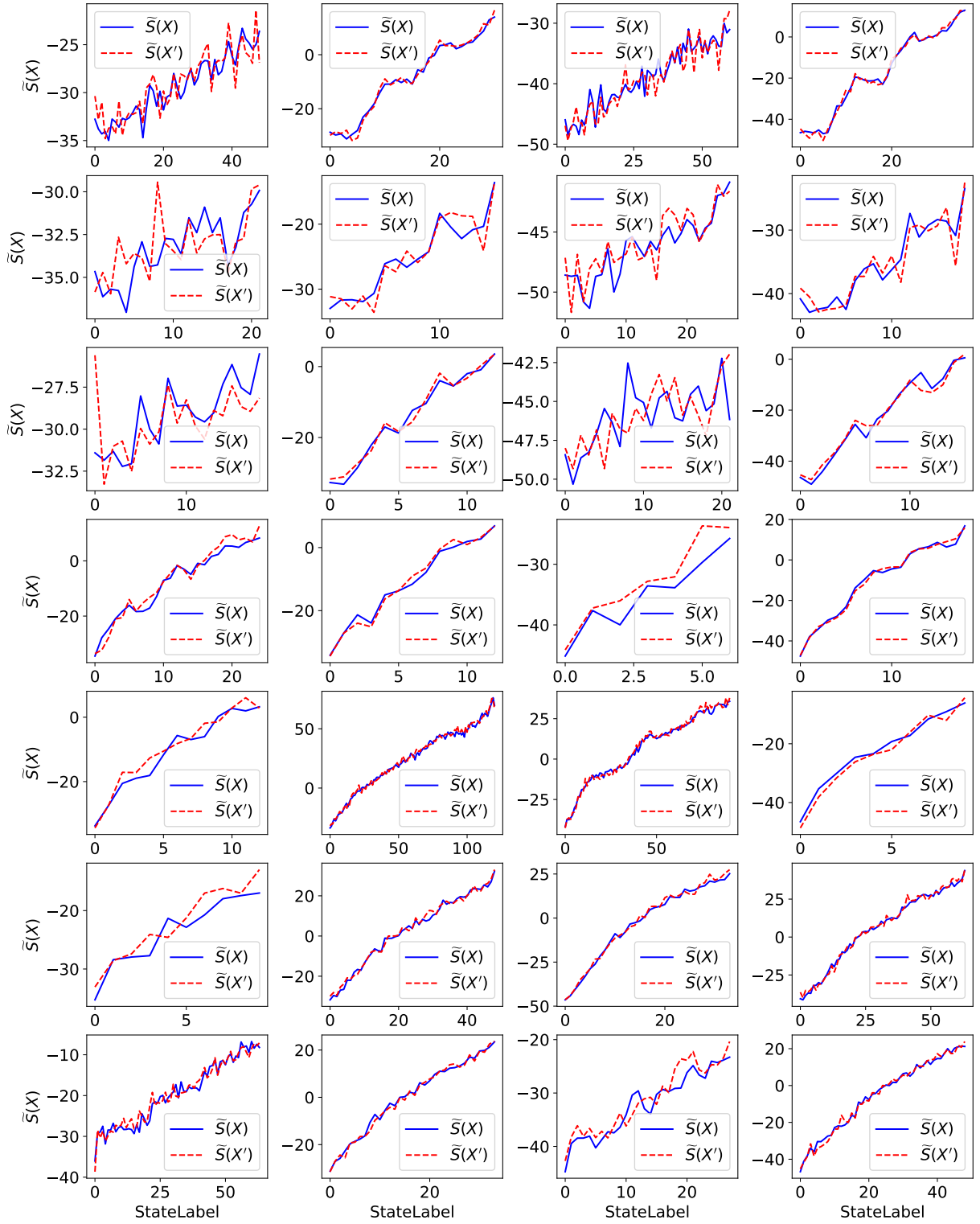


図 8: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像を 270 度回転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

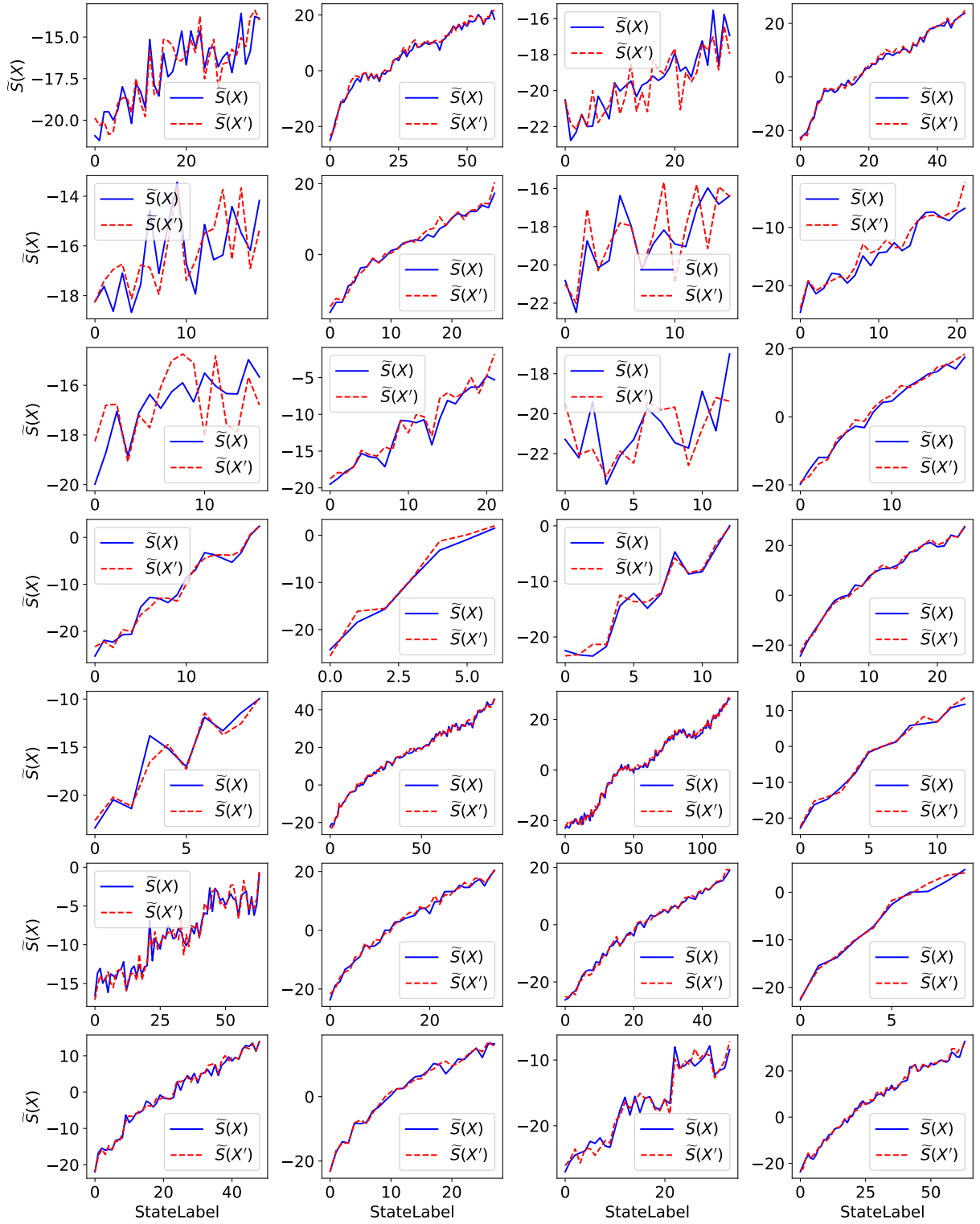


図 9: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像の x 軸を反転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

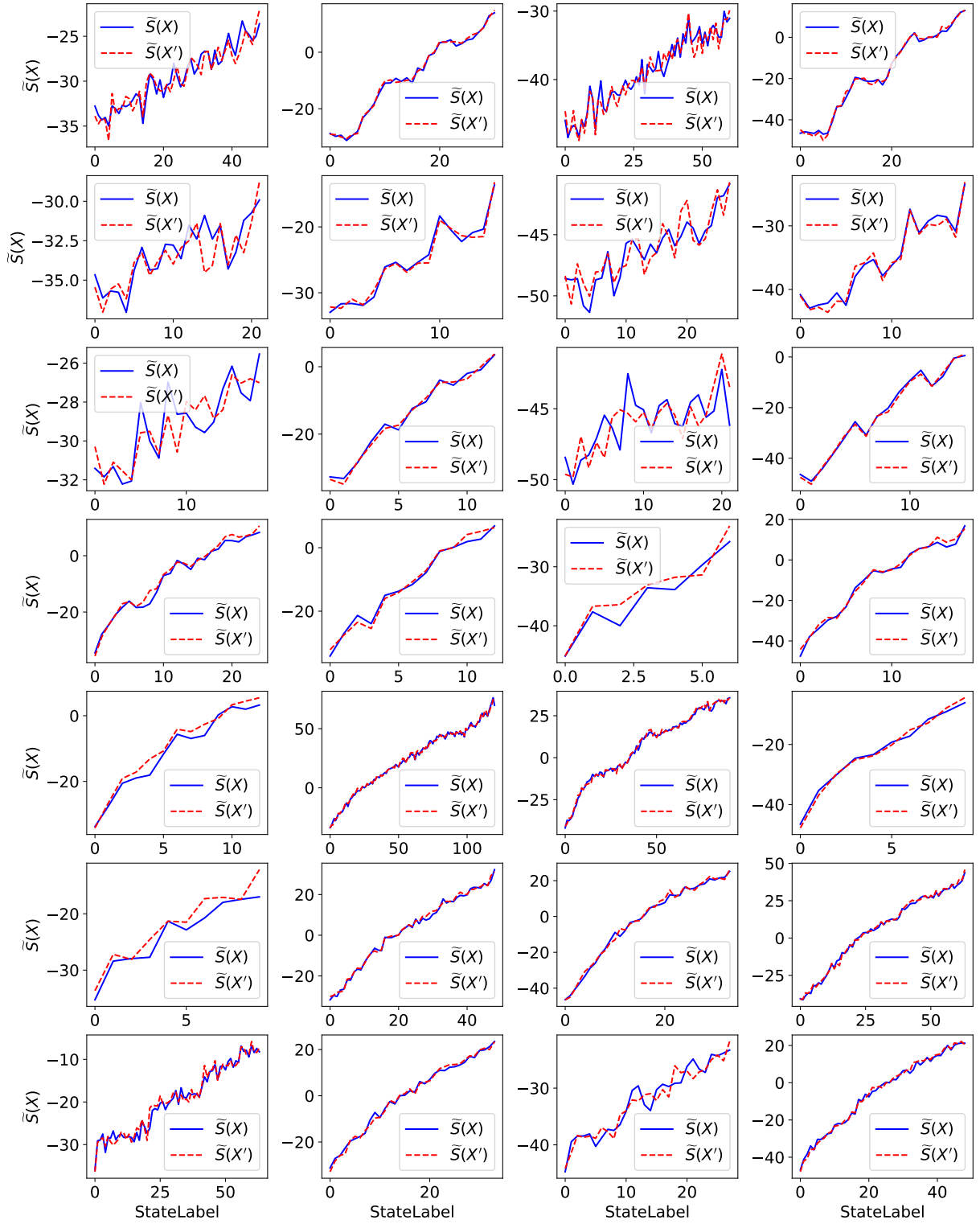


図 10: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像の x 軸を反転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

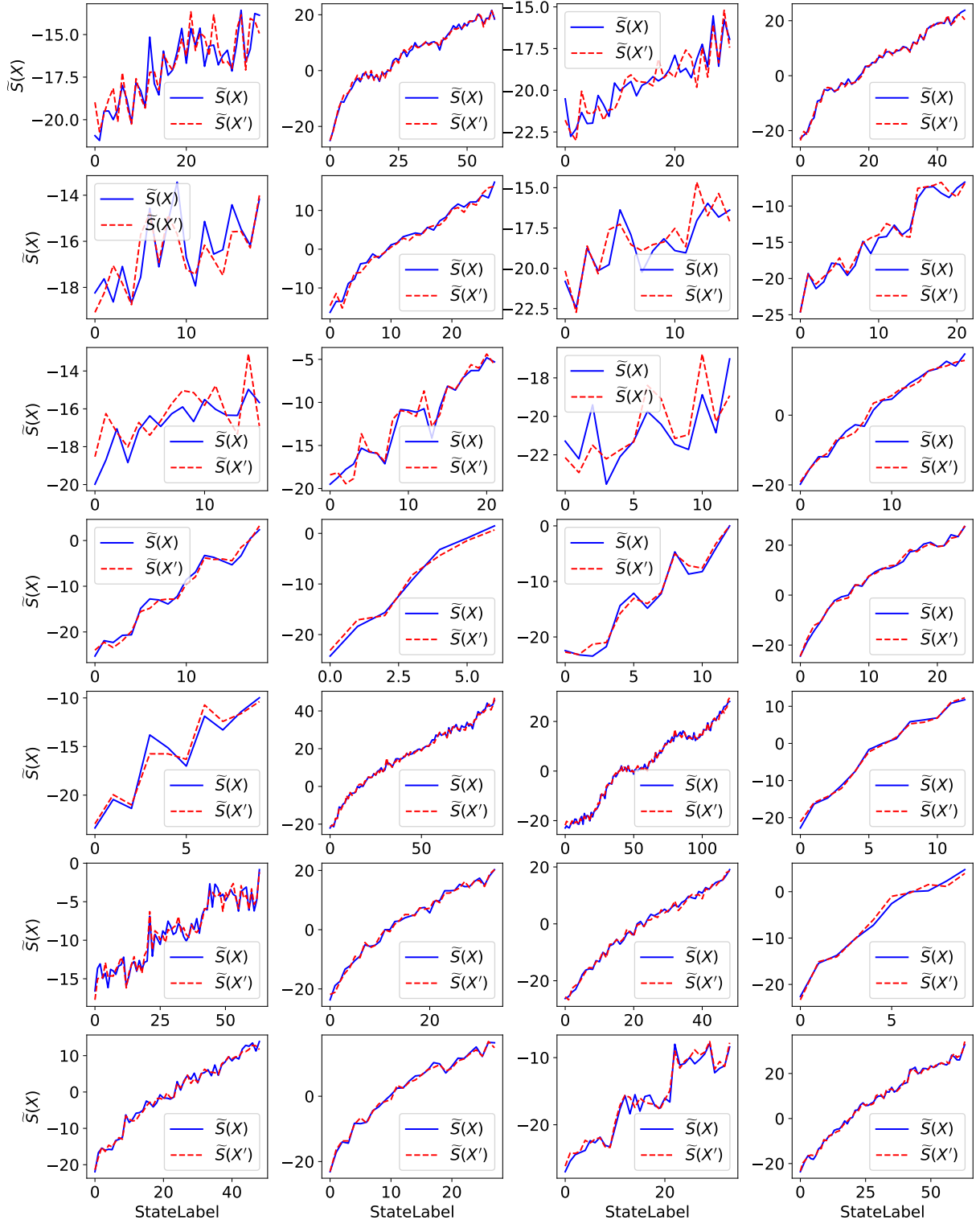


図 11: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像の x 軸を反転させたものを 90 度回転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

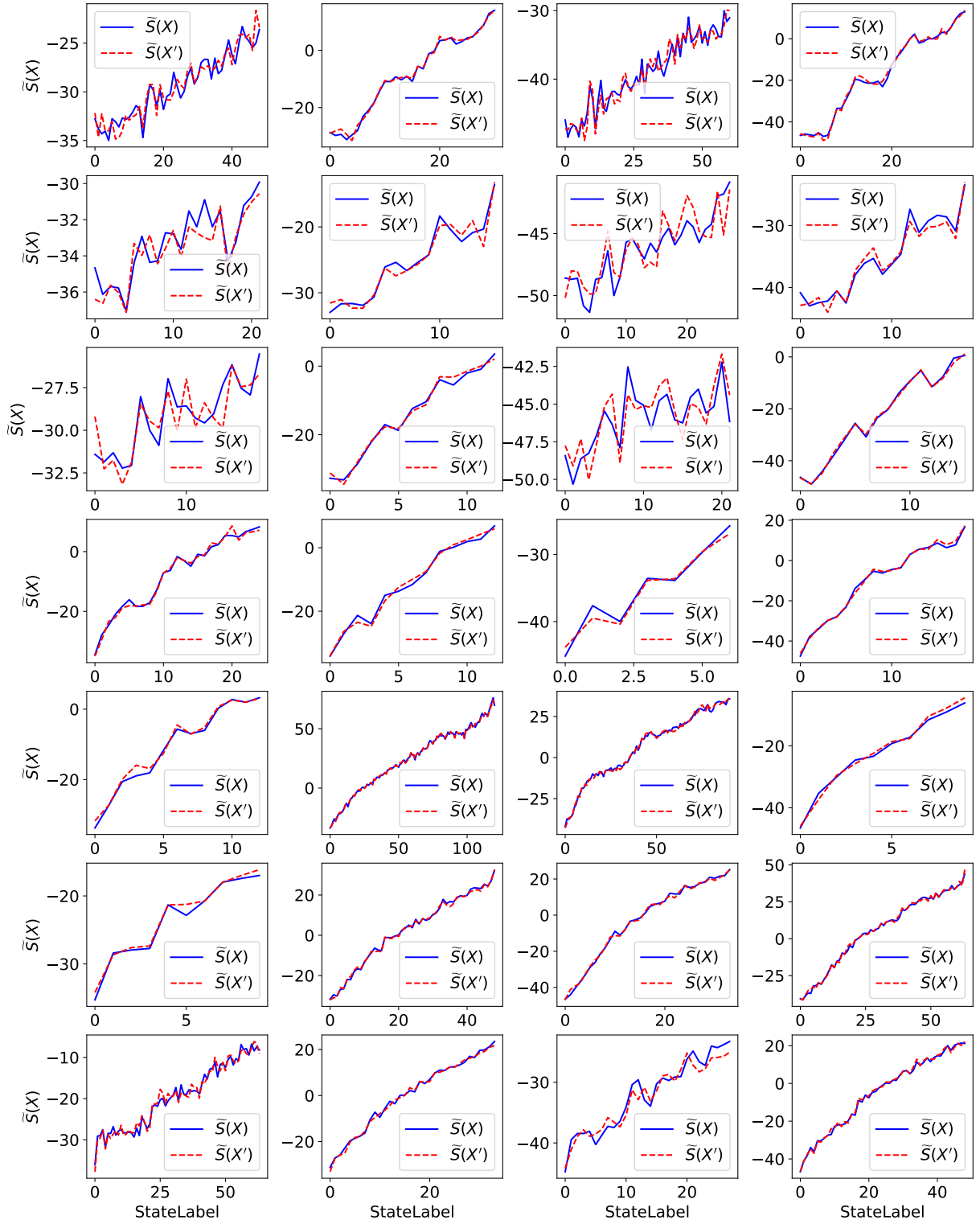


図 12: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像の x 軸を反転させたものを 90 度回転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

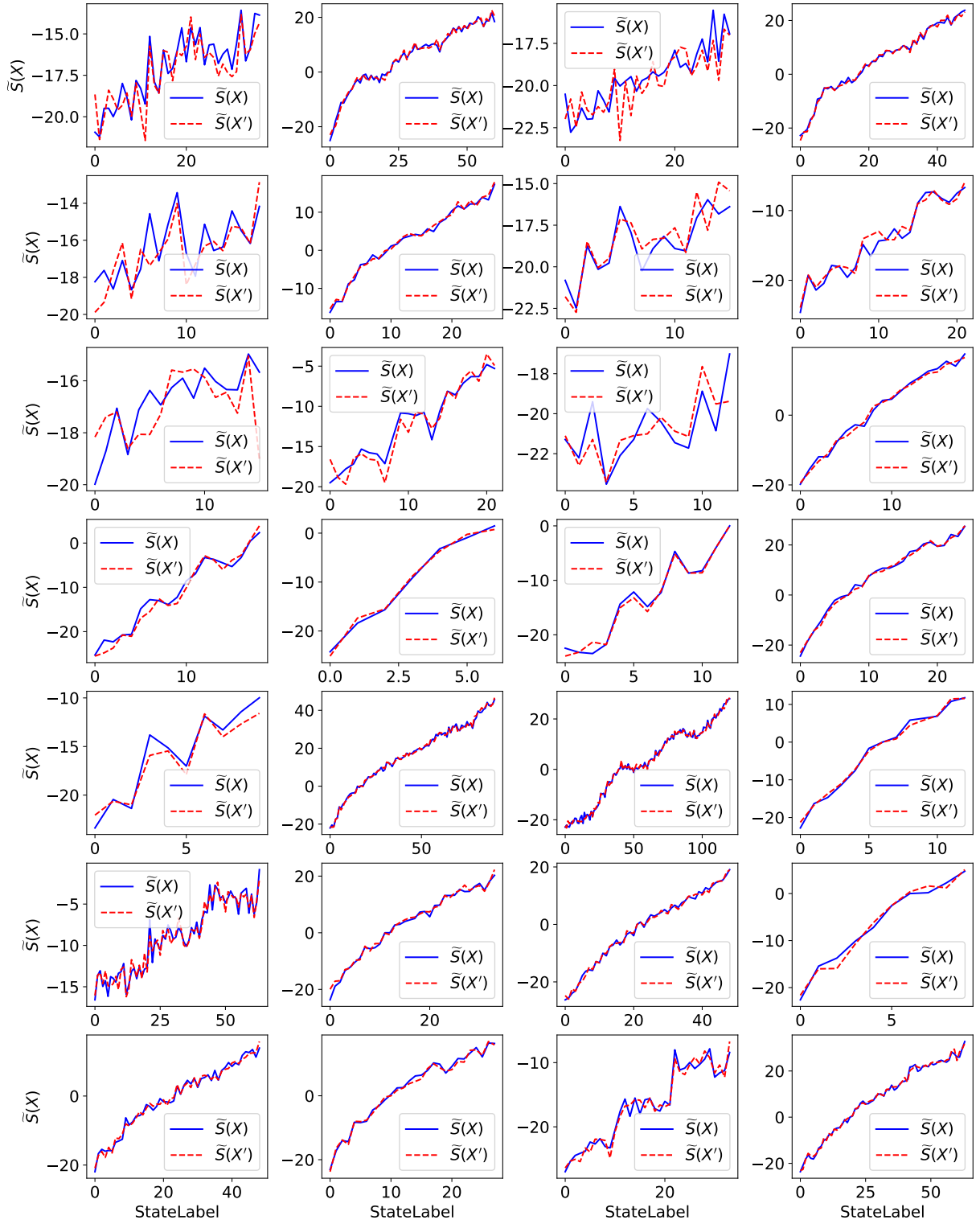


図 13: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像の x 軸を反転させたものを 180 度回転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

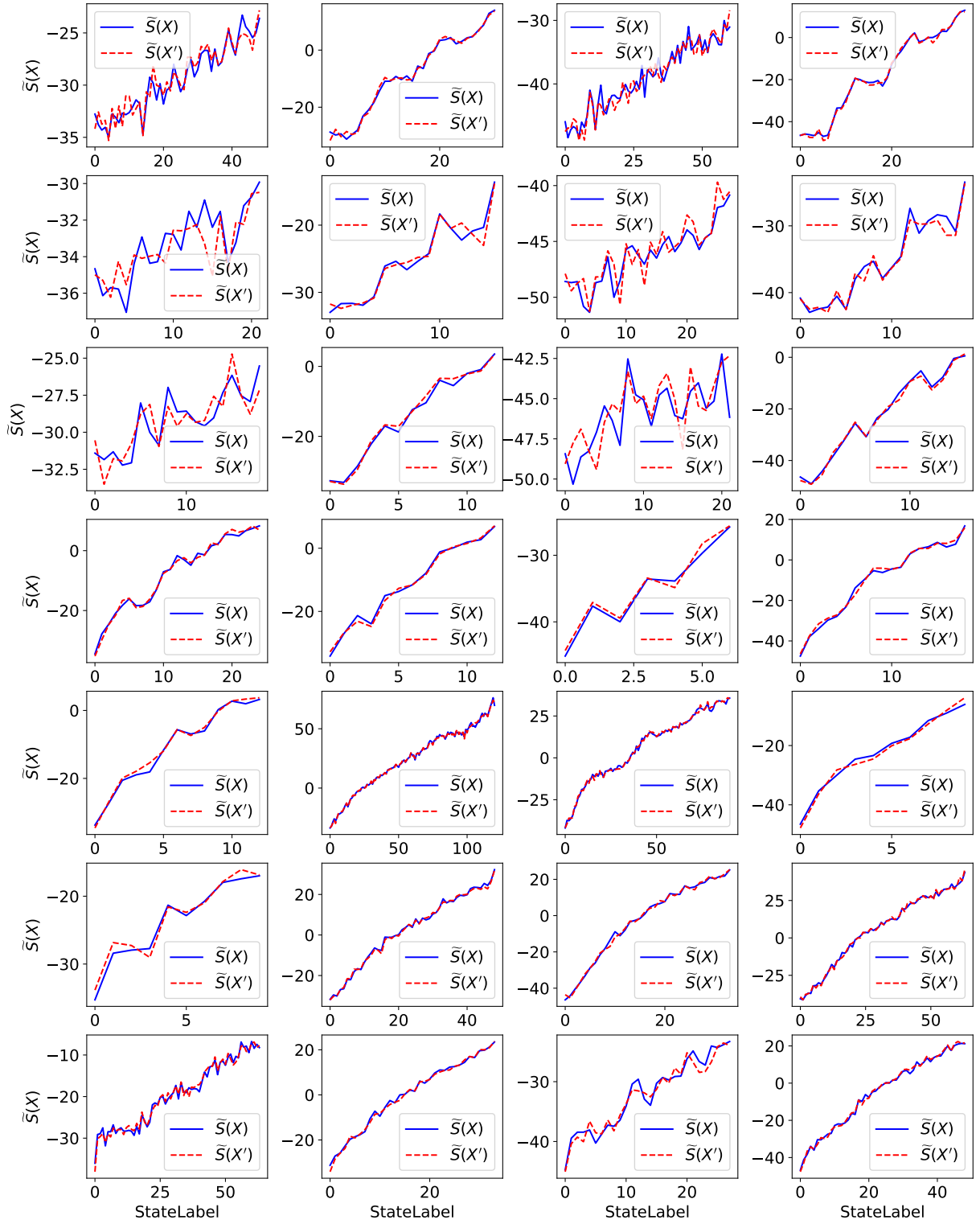


図 14: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像の x 軸を反転させたものを 180 度回転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

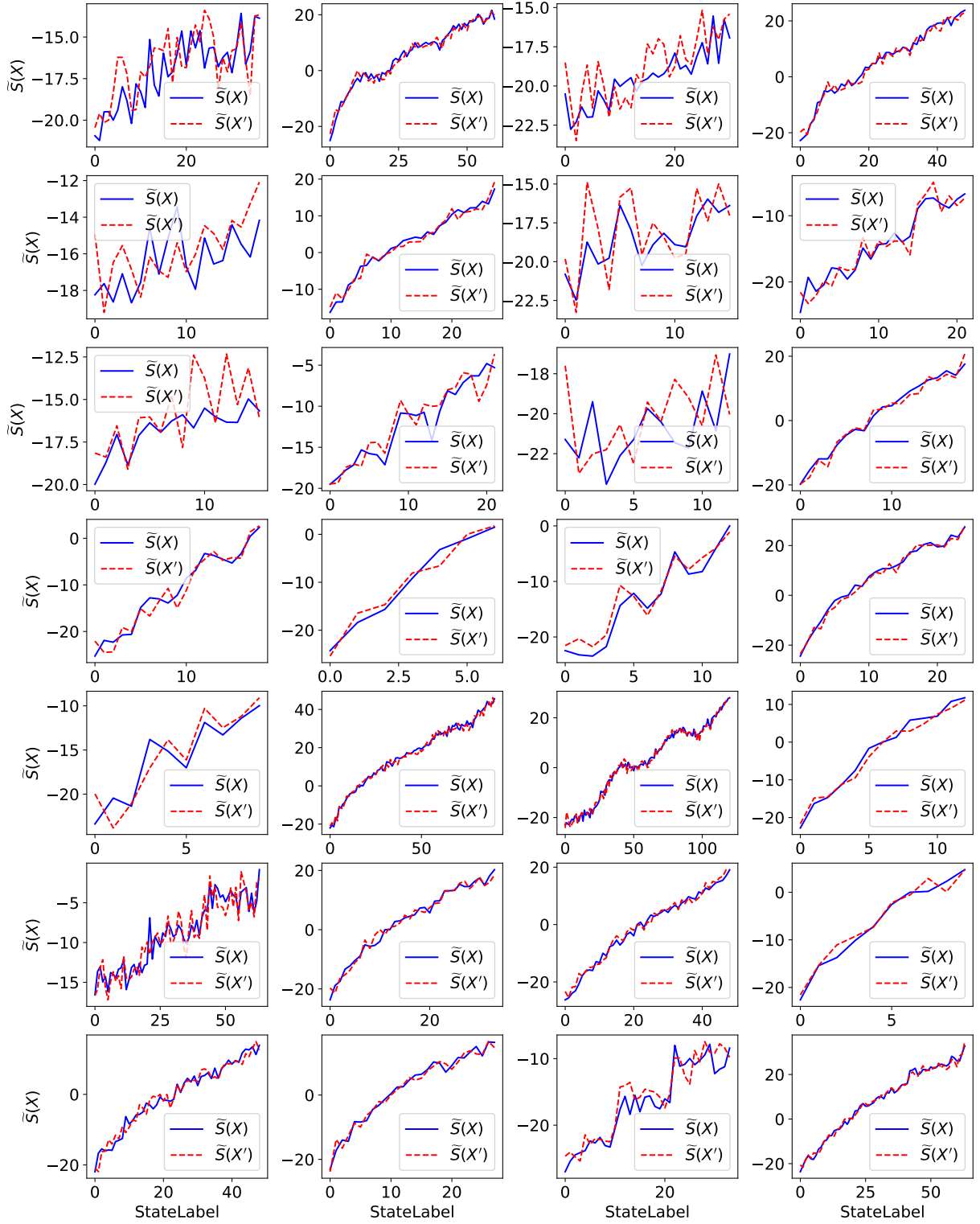


図 15: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像の x 軸を反転させたものを 270 度回転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

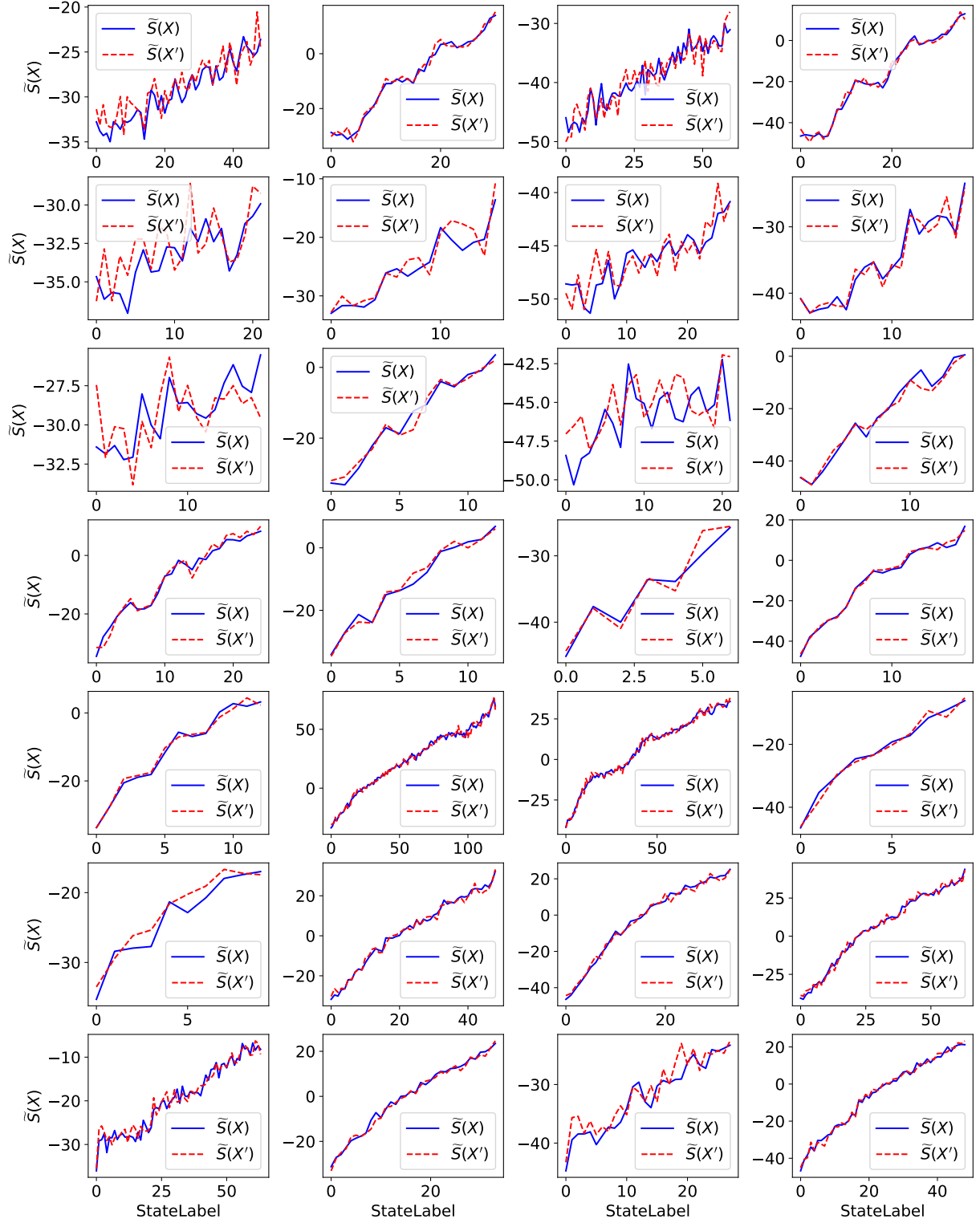


図 16: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像の x 軸を反転させたものを 270 度回転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

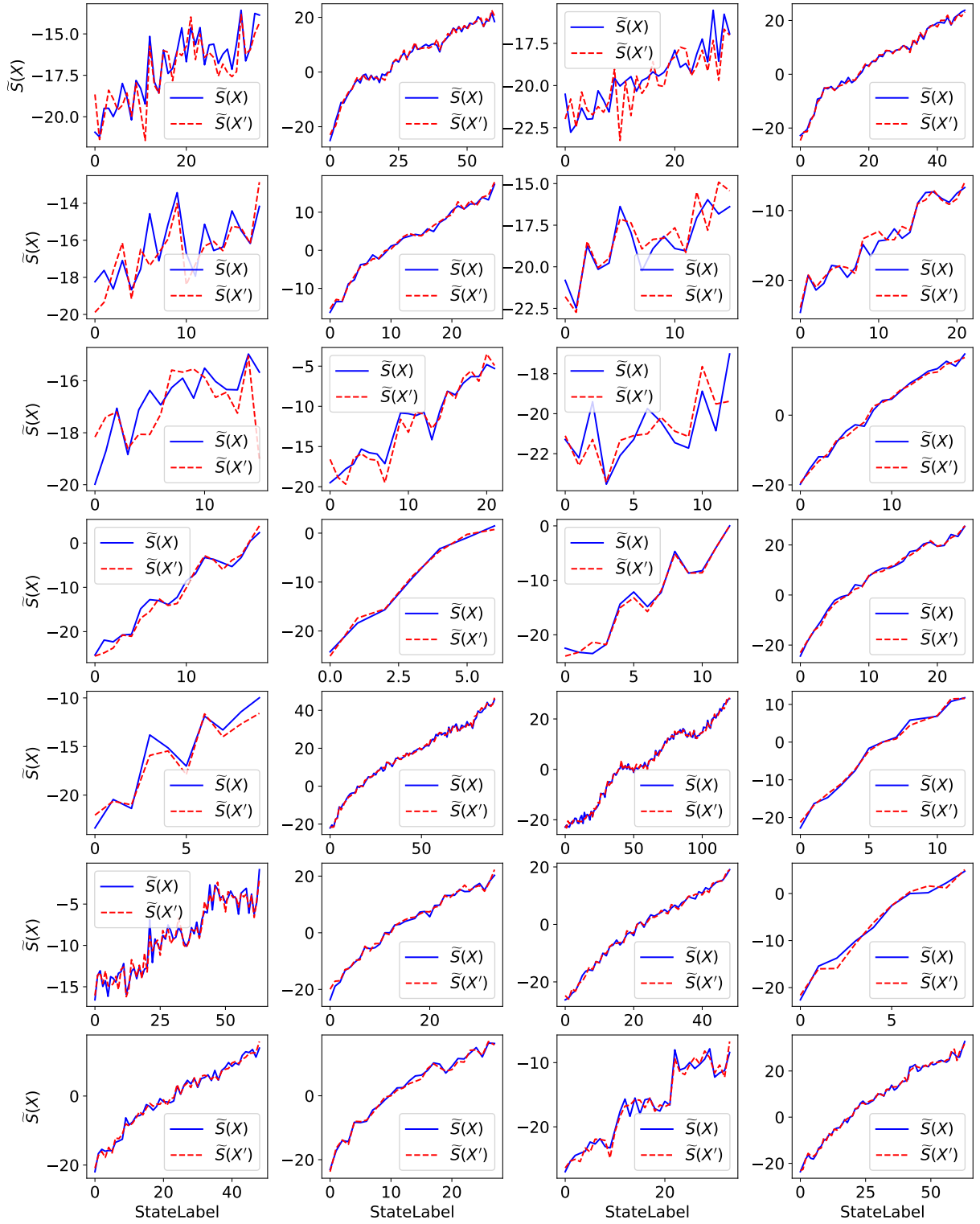


図 17: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像の y 軸を反転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

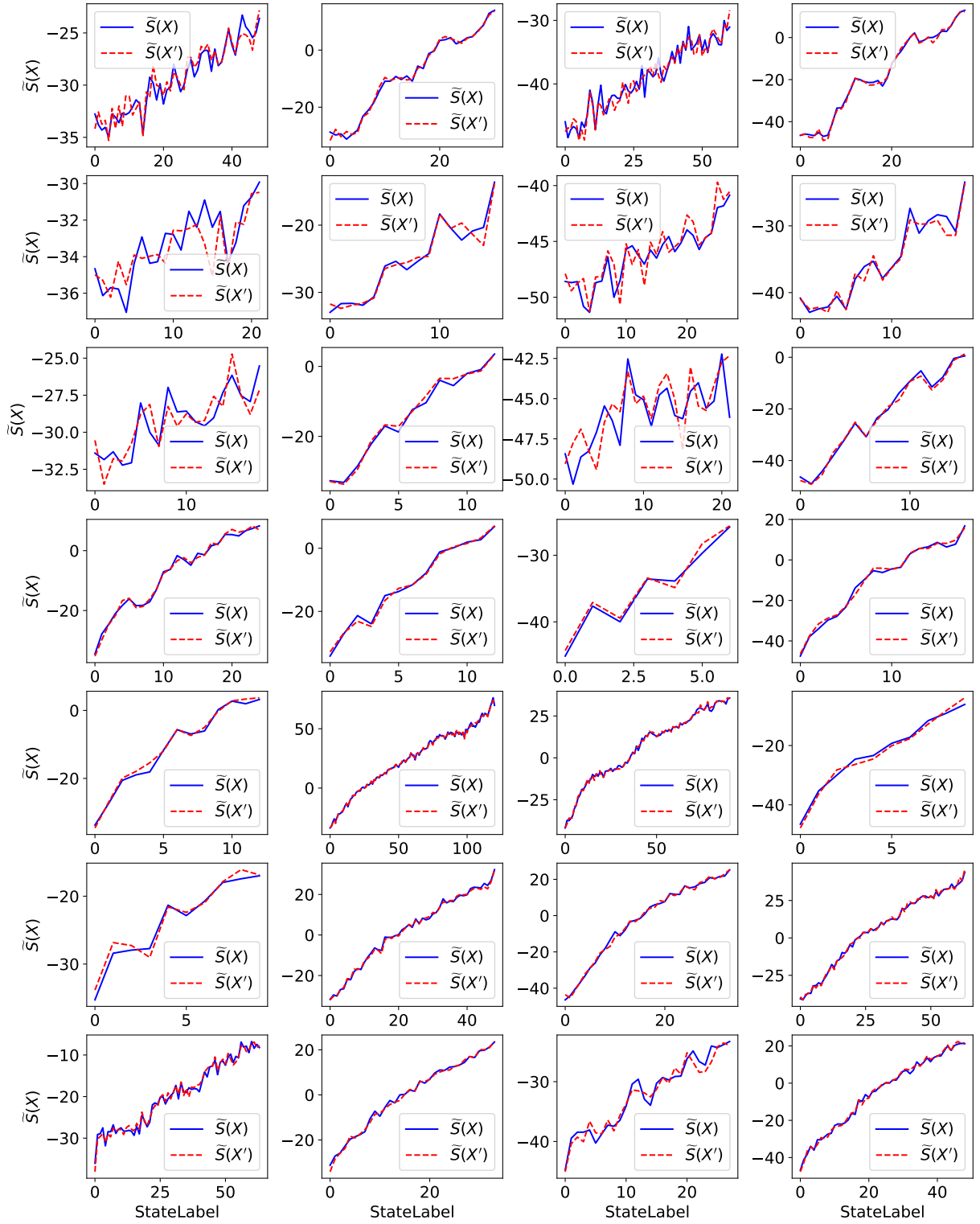


図 18: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像の y 軸を反転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

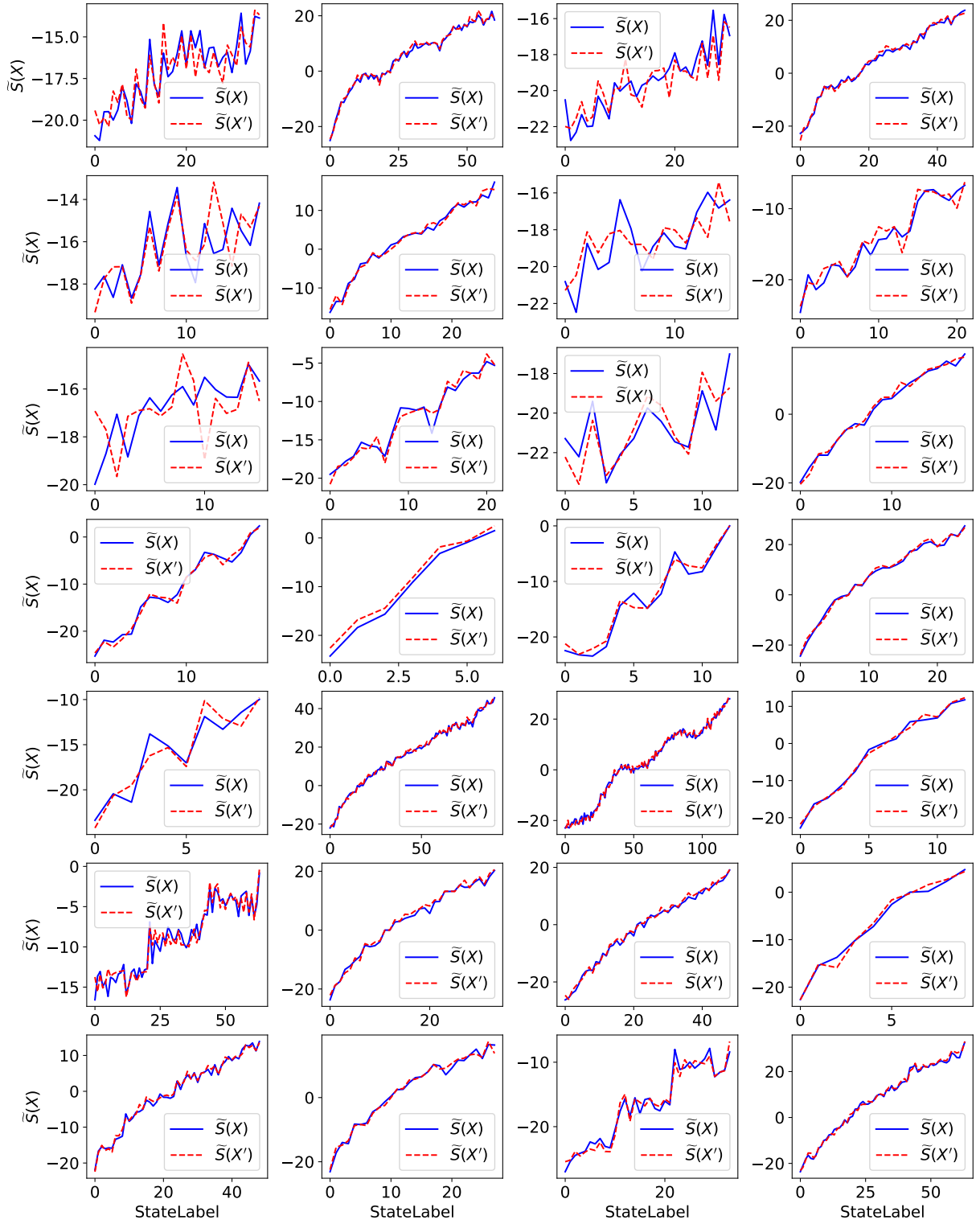


図 19: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像の y 軸を反転させたものを 90 度回転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

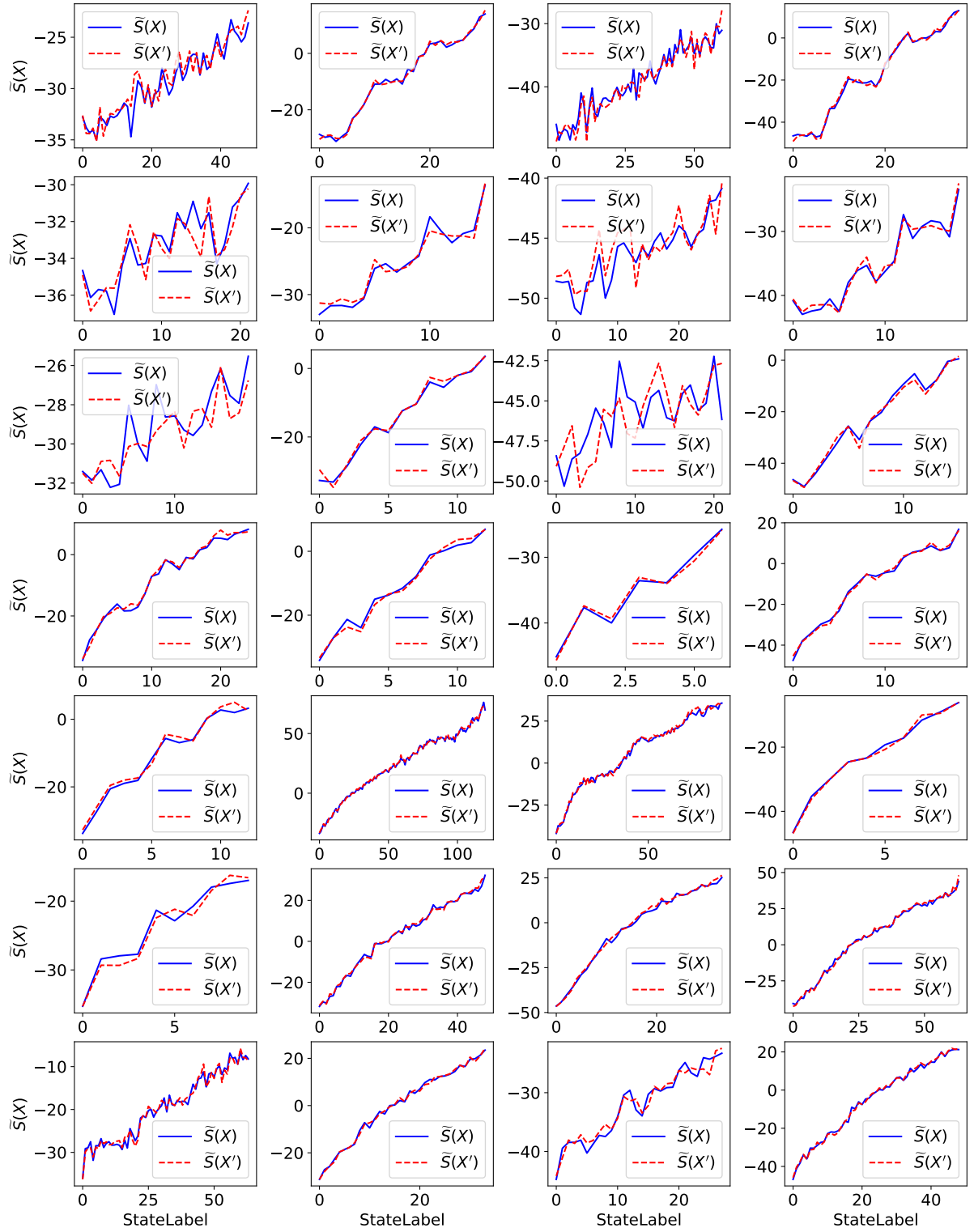


図 20: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像の y 軸を反転させたものを 90 度回転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

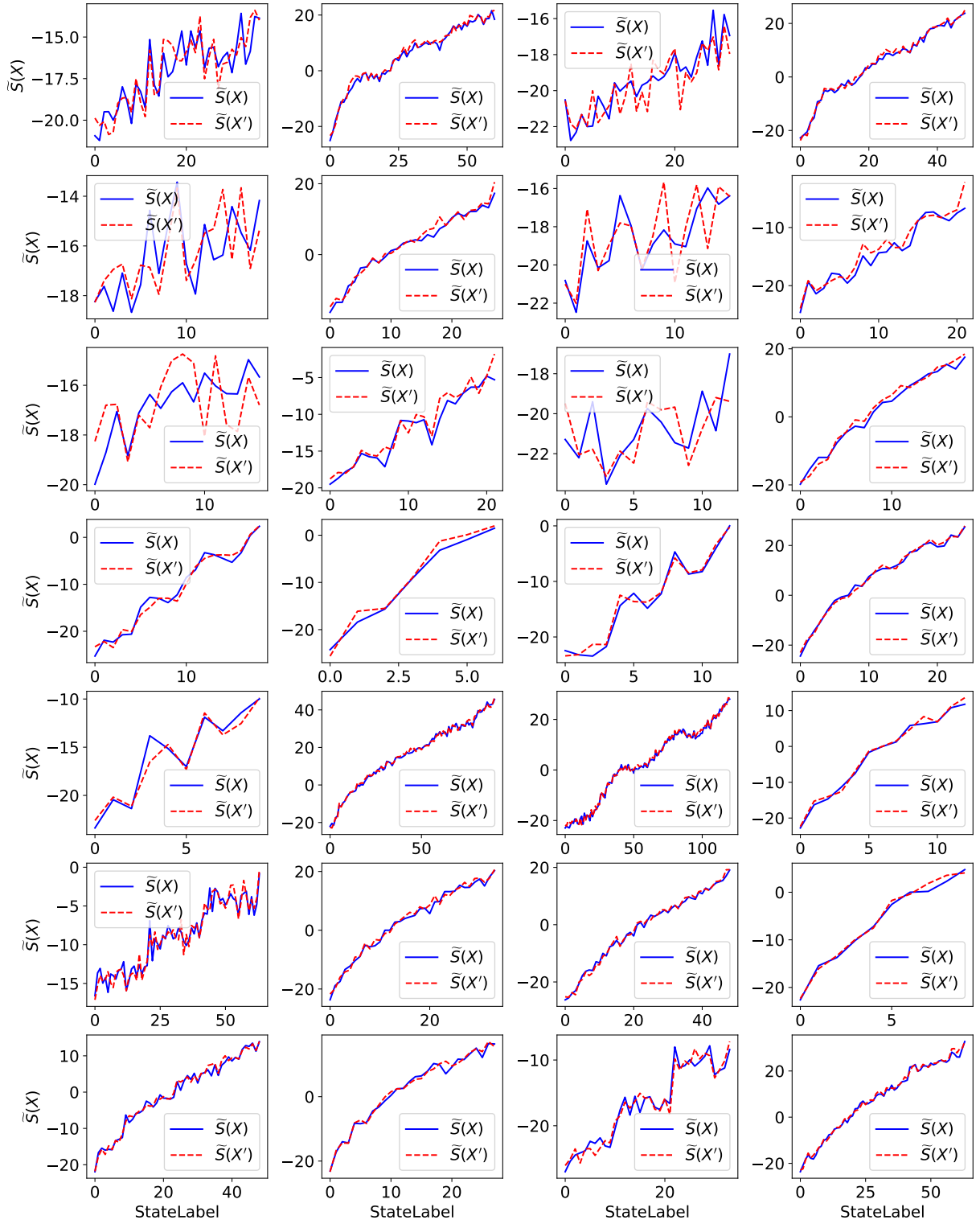


図 21: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像の y 軸を反転させたものを 180 度回転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

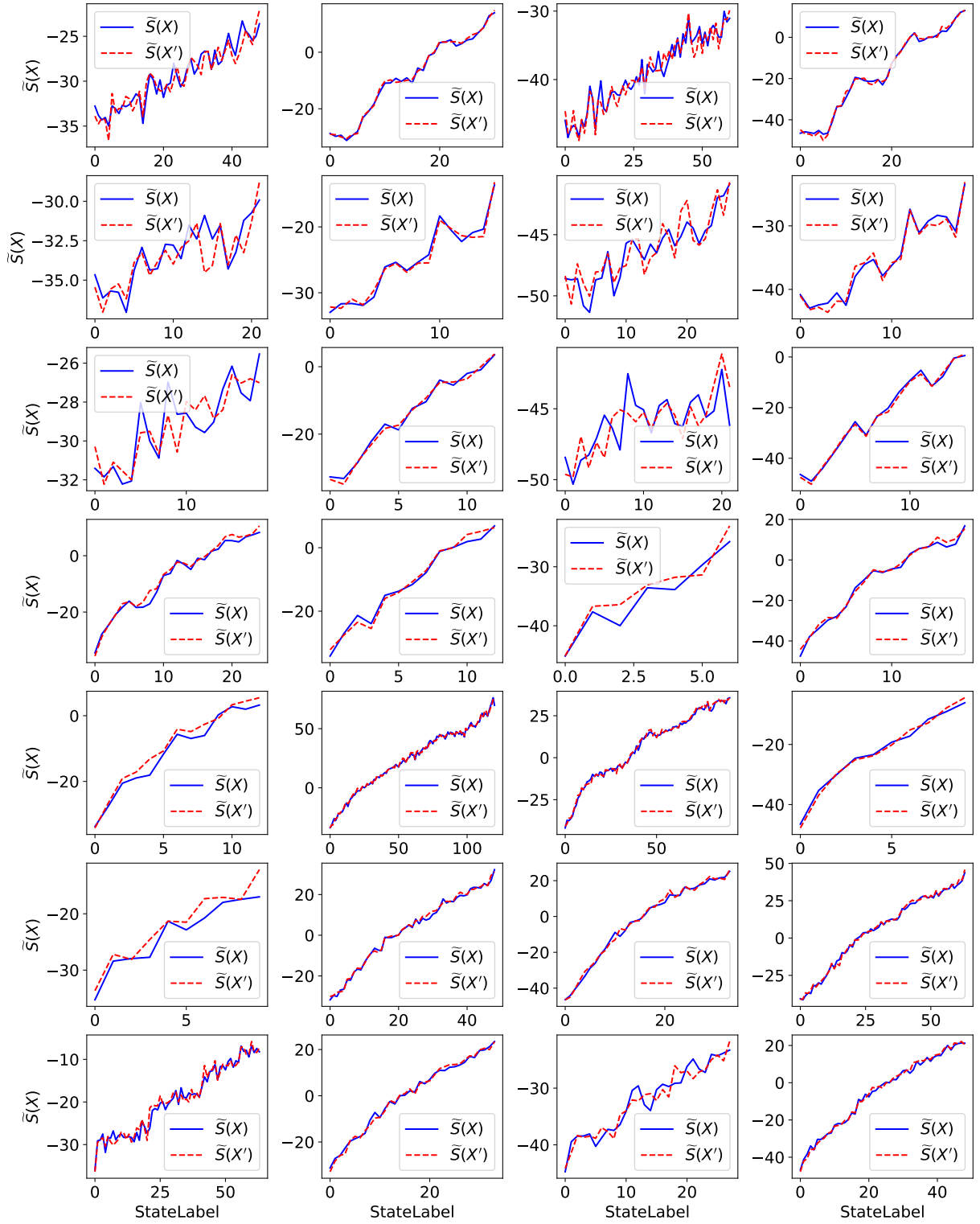


図 22: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像の y 軸を反転させたものを 180 度回転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

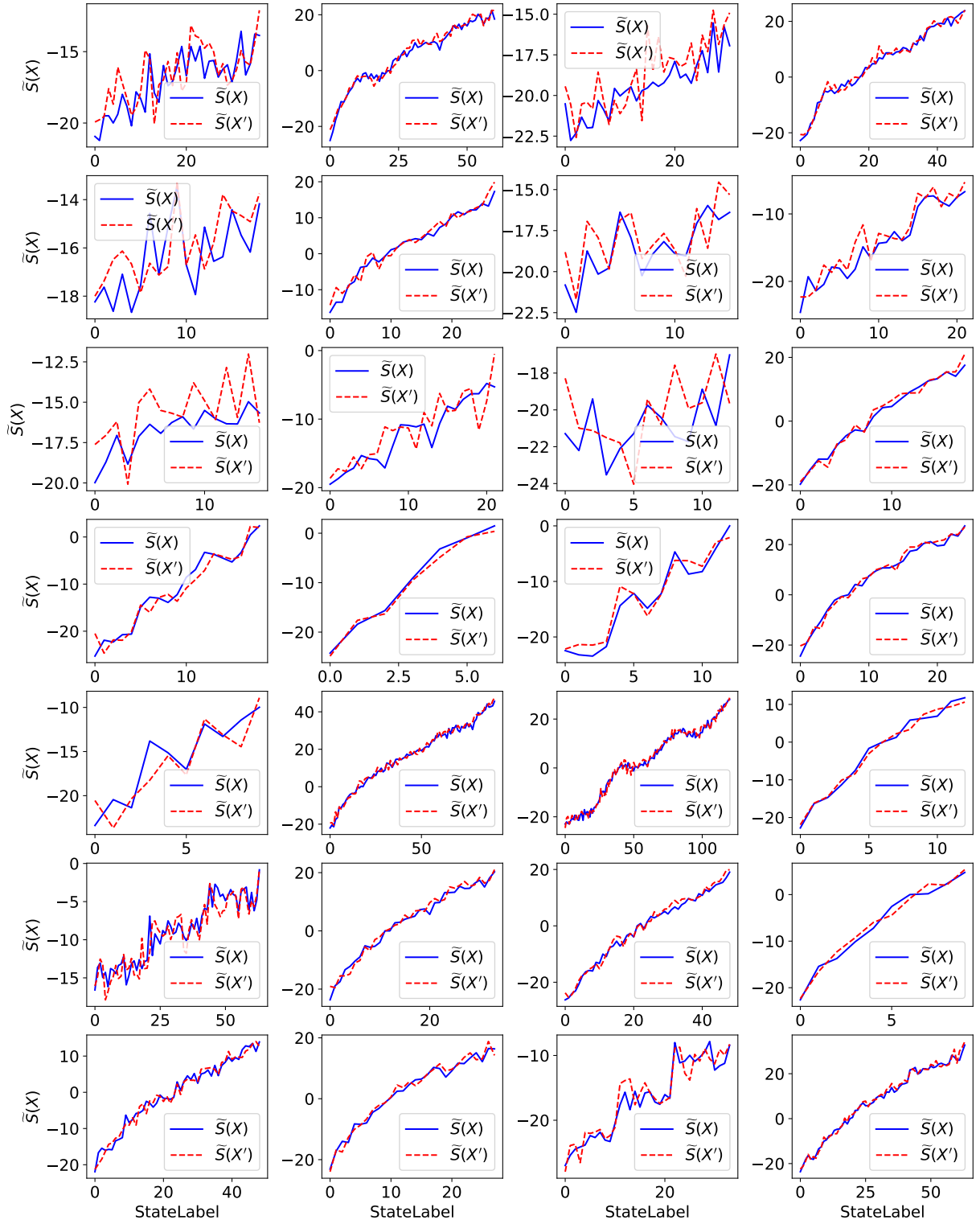


図 23: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像の y 軸を反転させたものを 180 度回転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

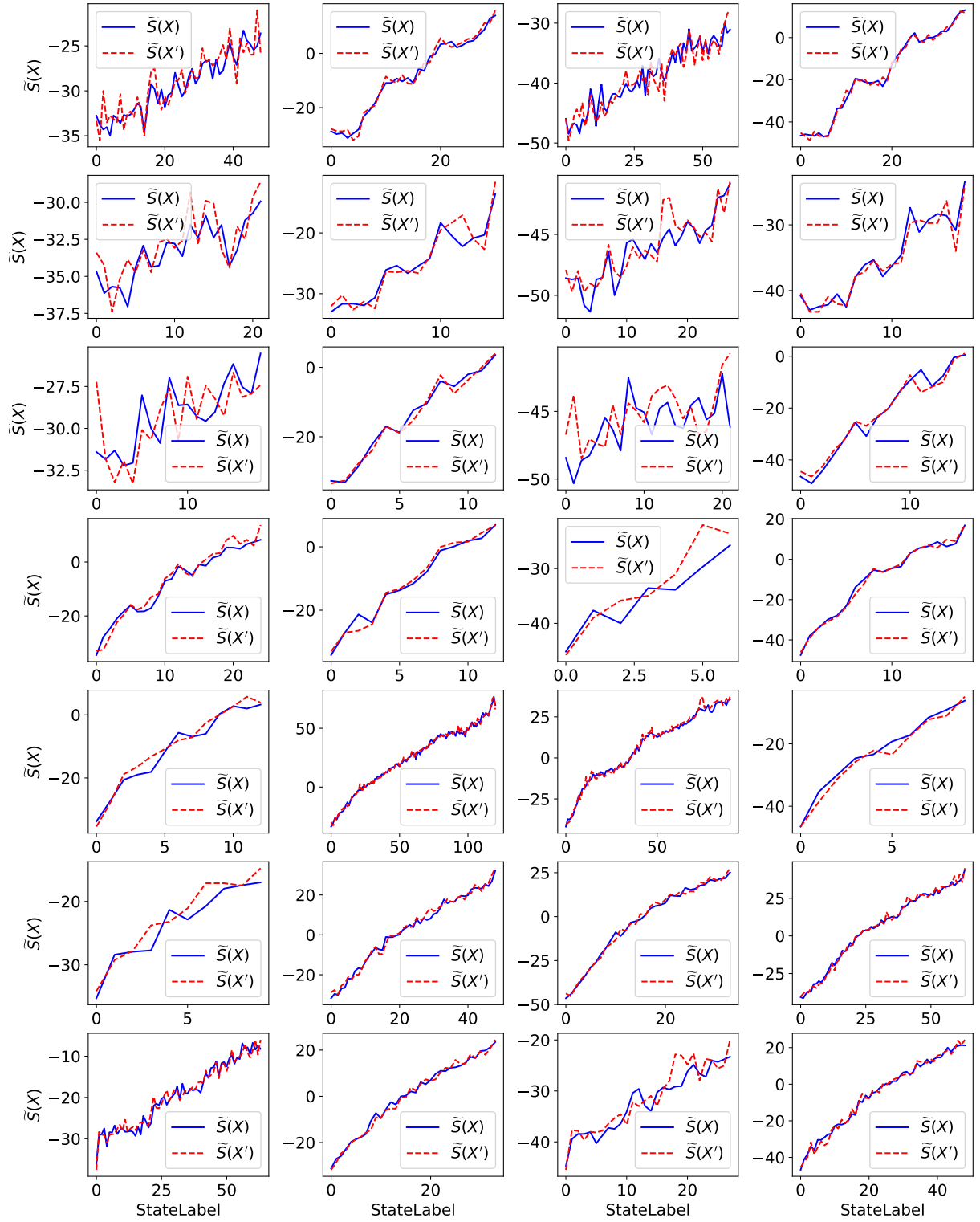


図 24: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像の y 軸を反転させたものを 180 度回転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

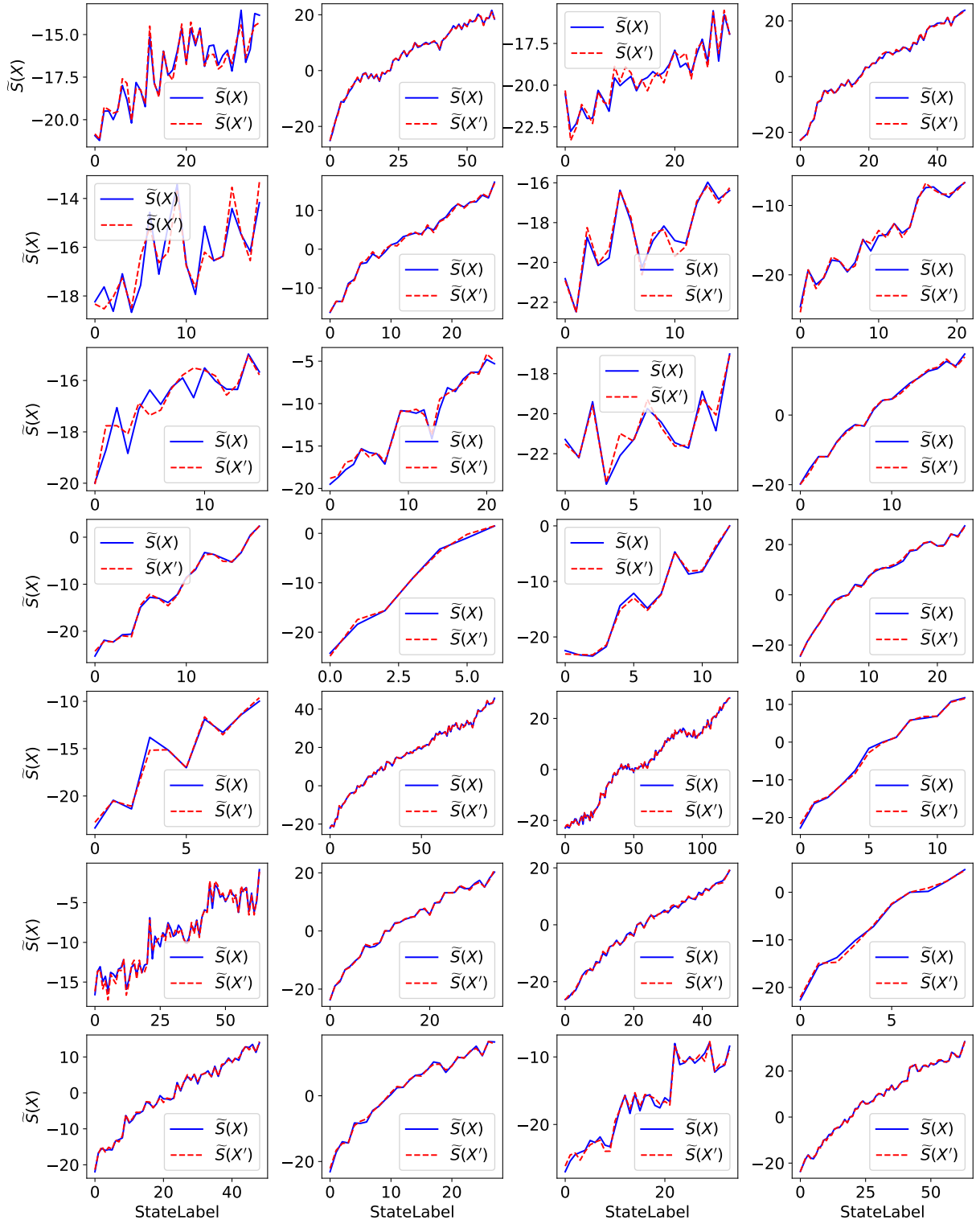


図 25: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像を時間反転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

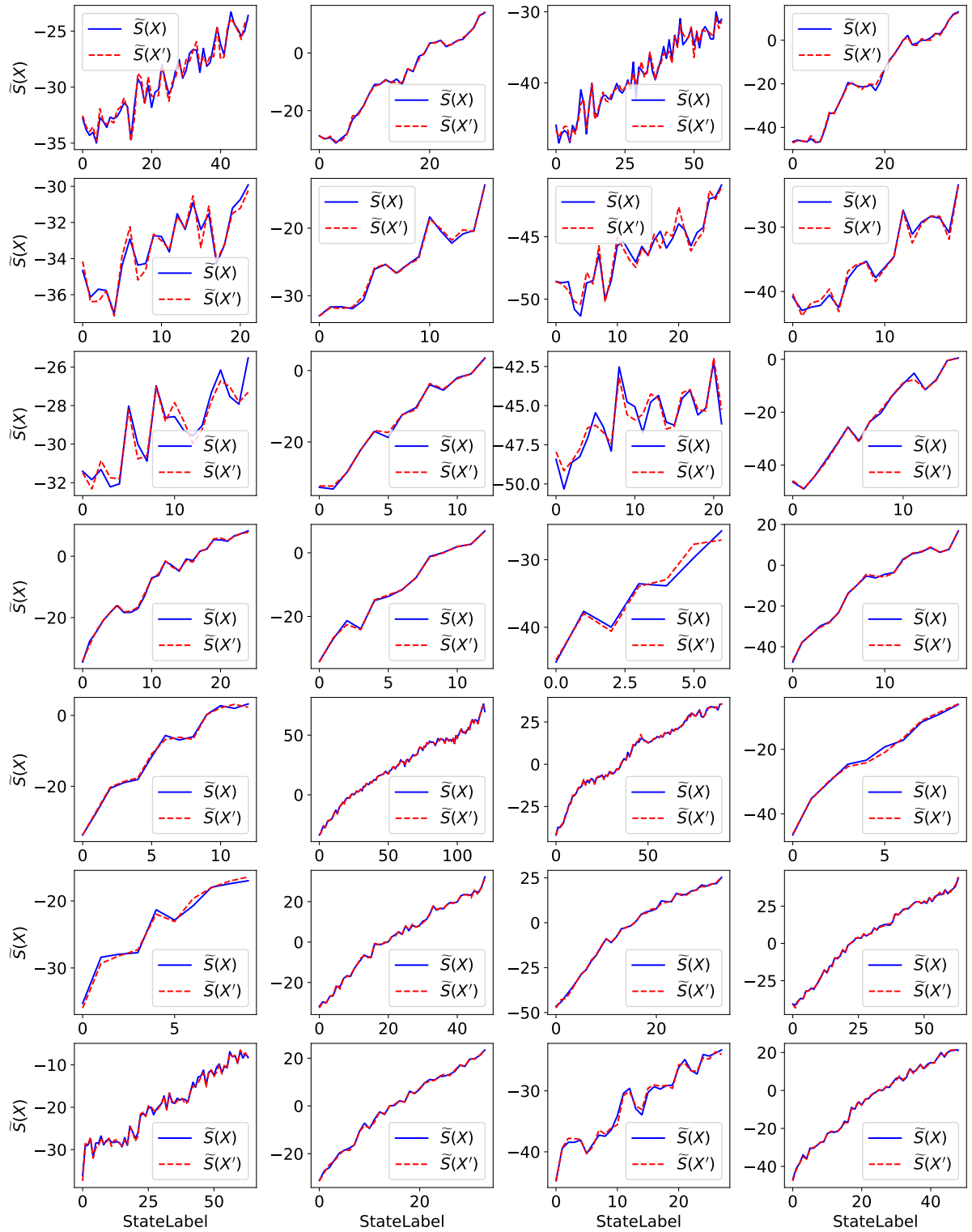


図 26: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像を時間反転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

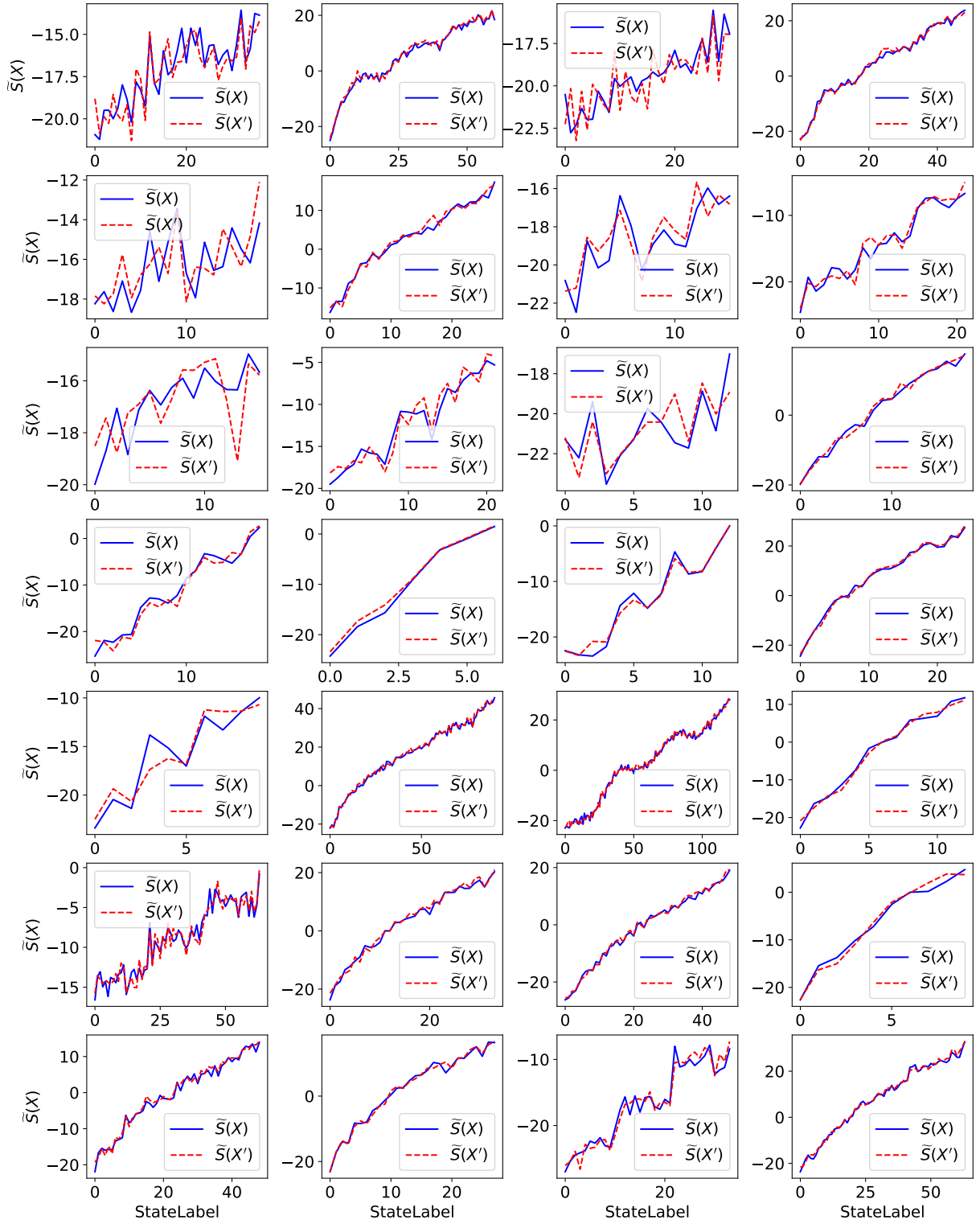


図 27: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像を時間反転させたものを 90 度回転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

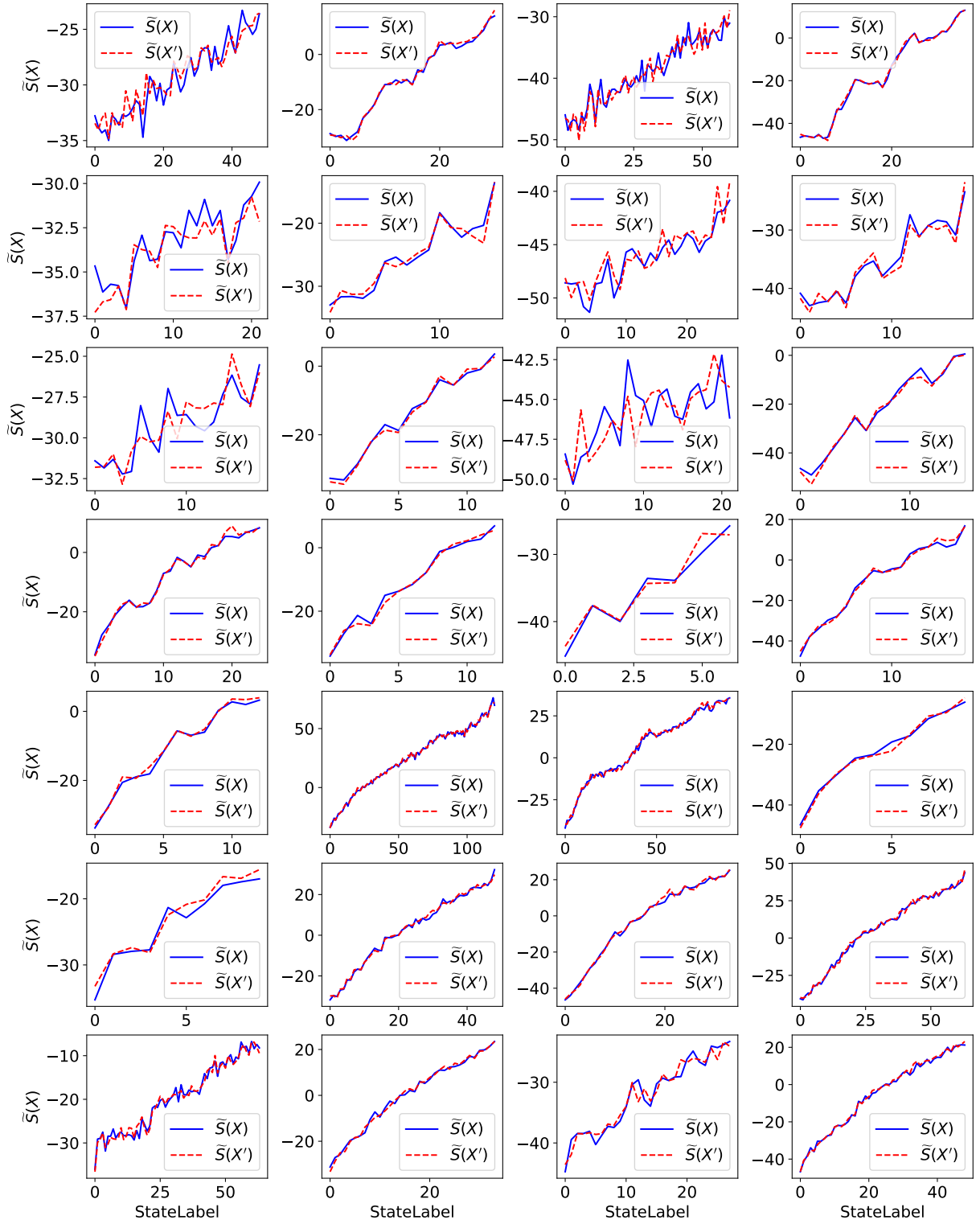


図 28: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像を時間反転させたものを 90 度回転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

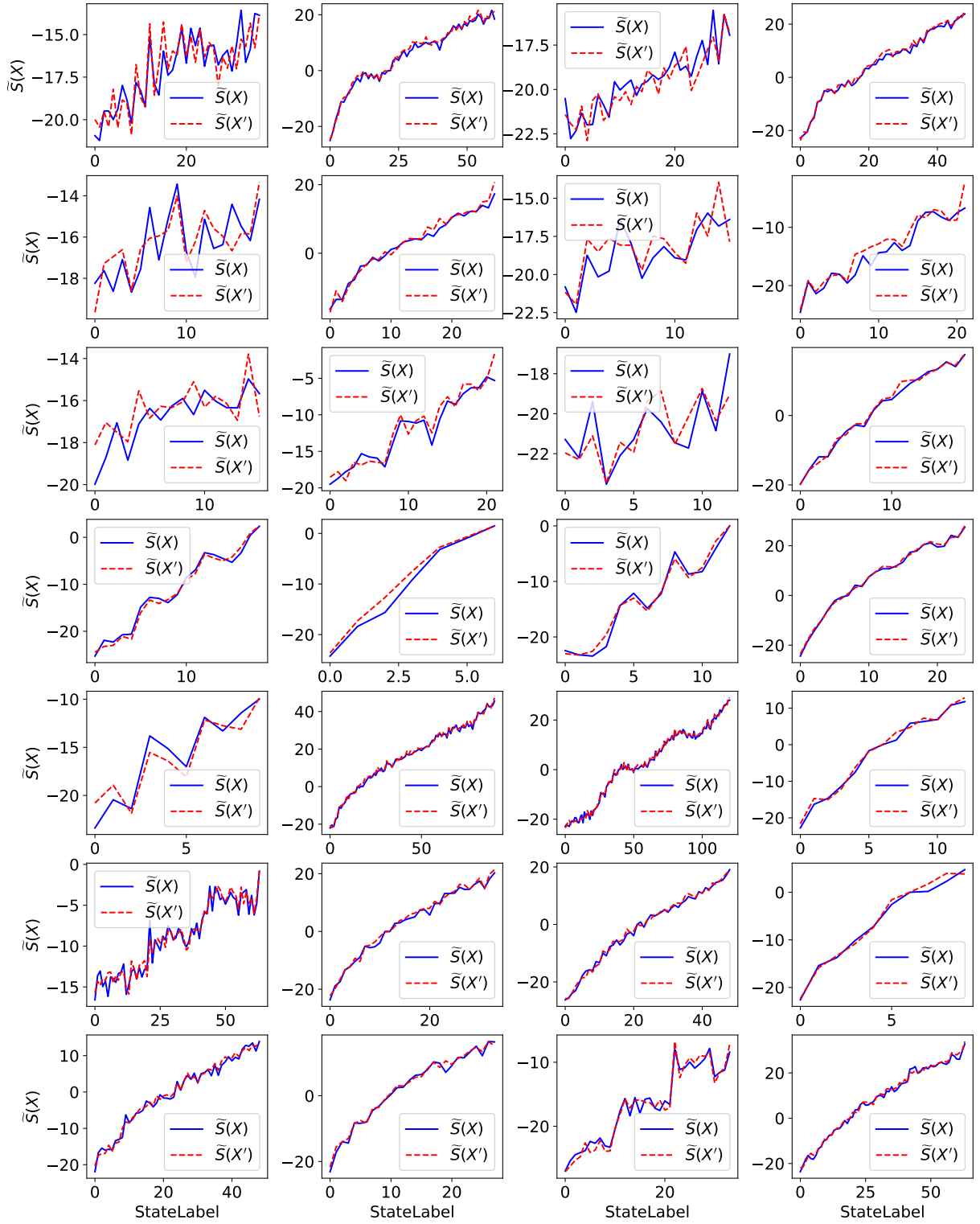


図 29: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像を時間反転させたものを 180 度回転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

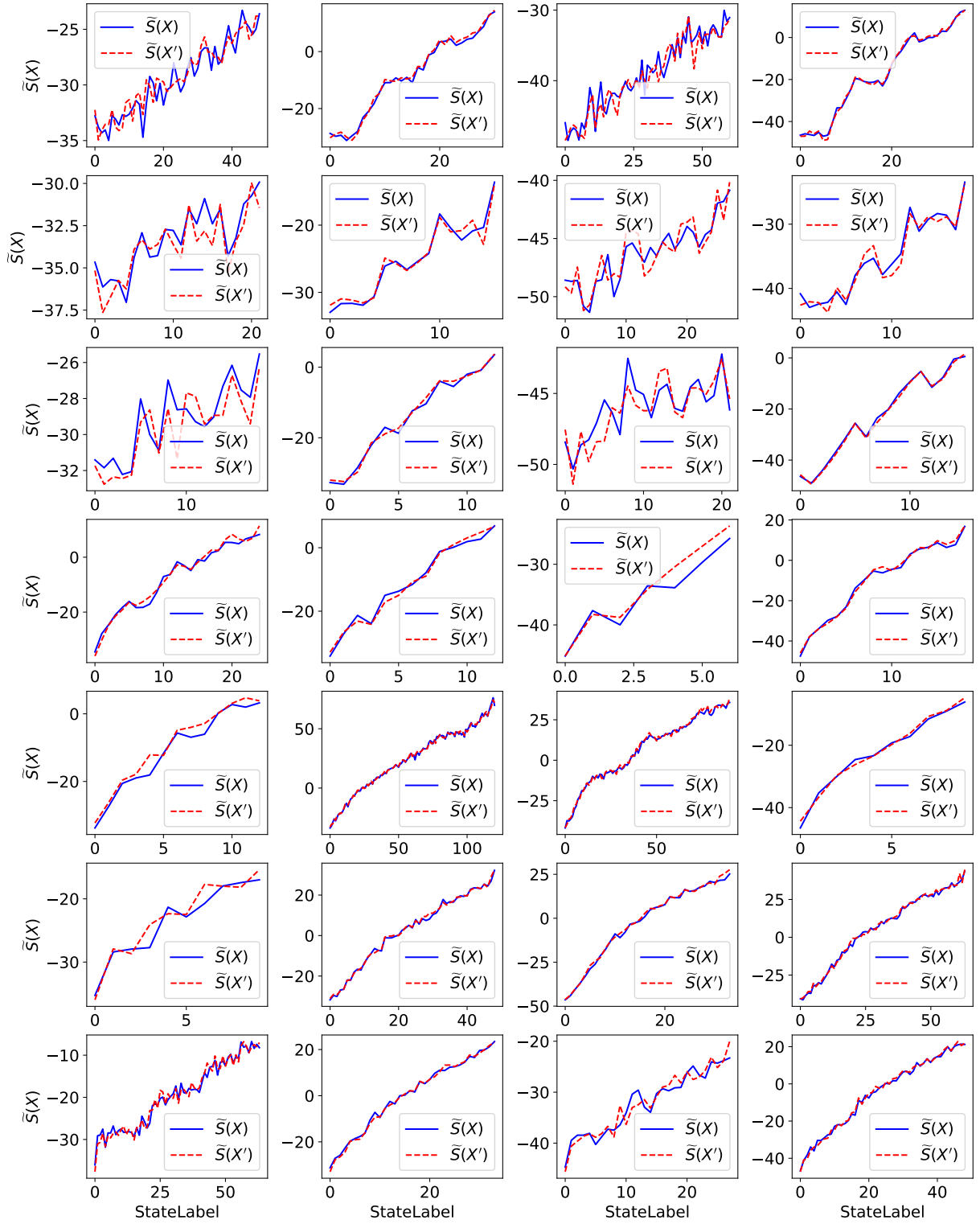


図 30: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像を時間反転させたものを 180 度回転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

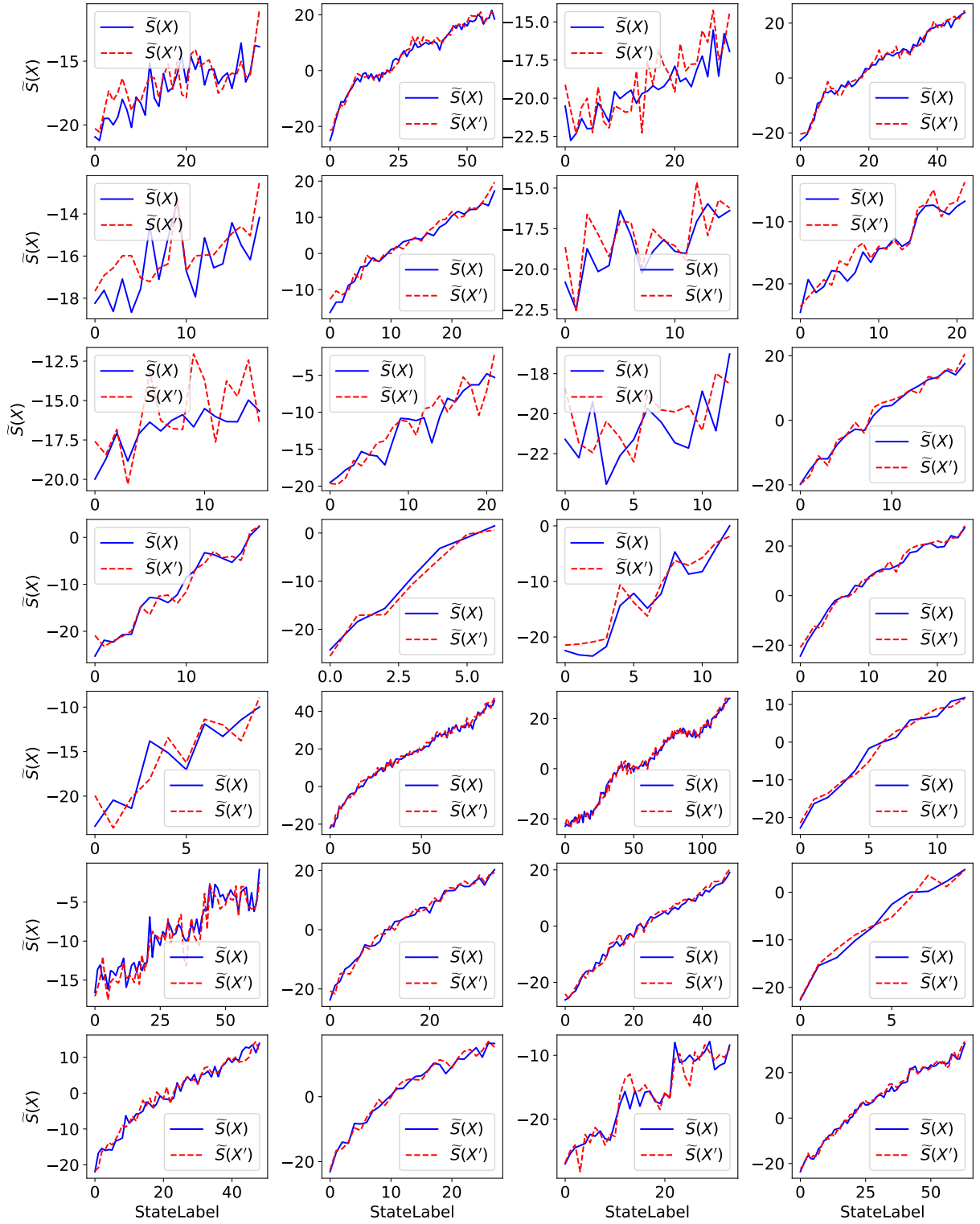


図 31: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像を時間反転させたものを 270 度回転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

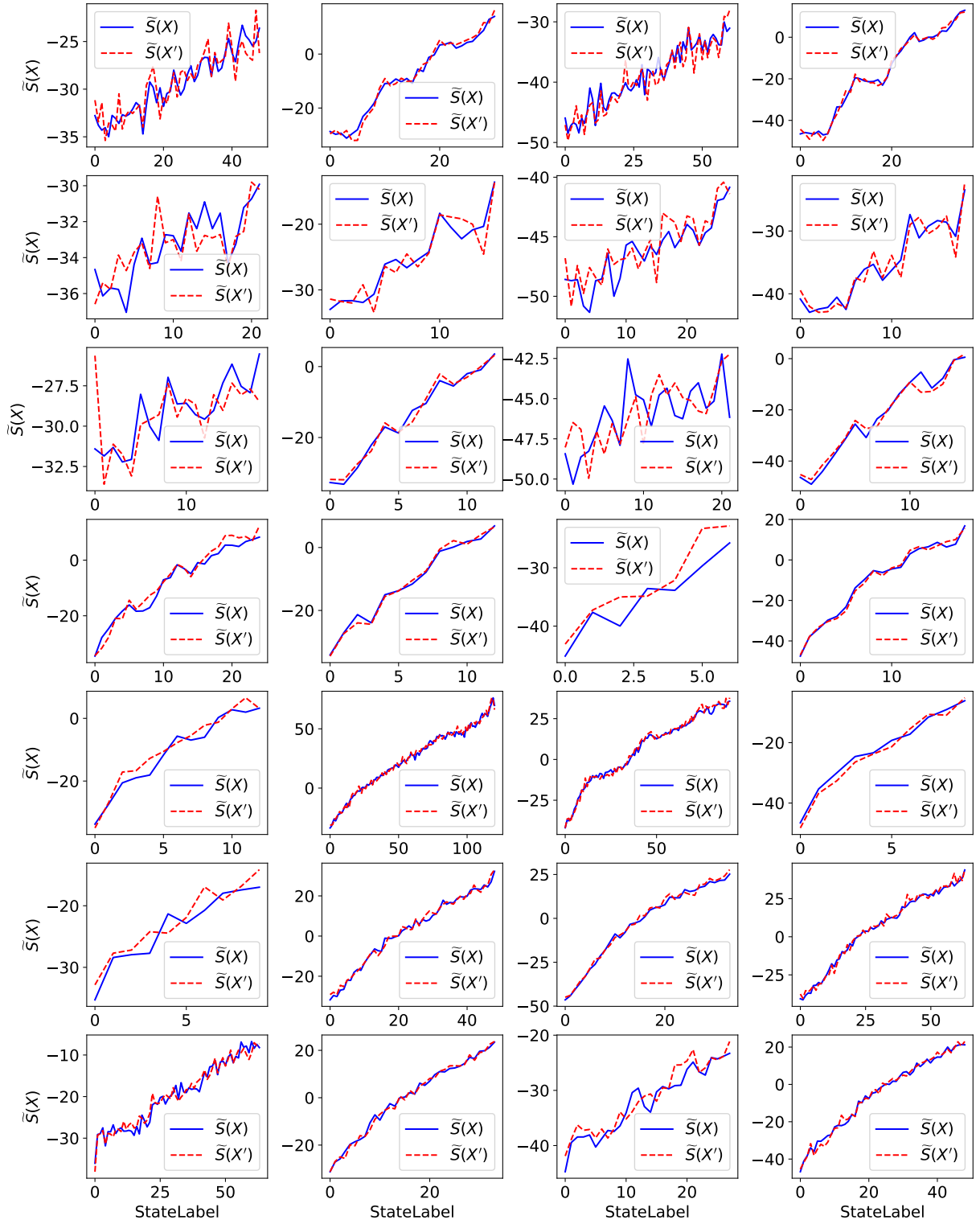


図 32: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が画像を時間反転させたものを 270 度回転させたものの $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

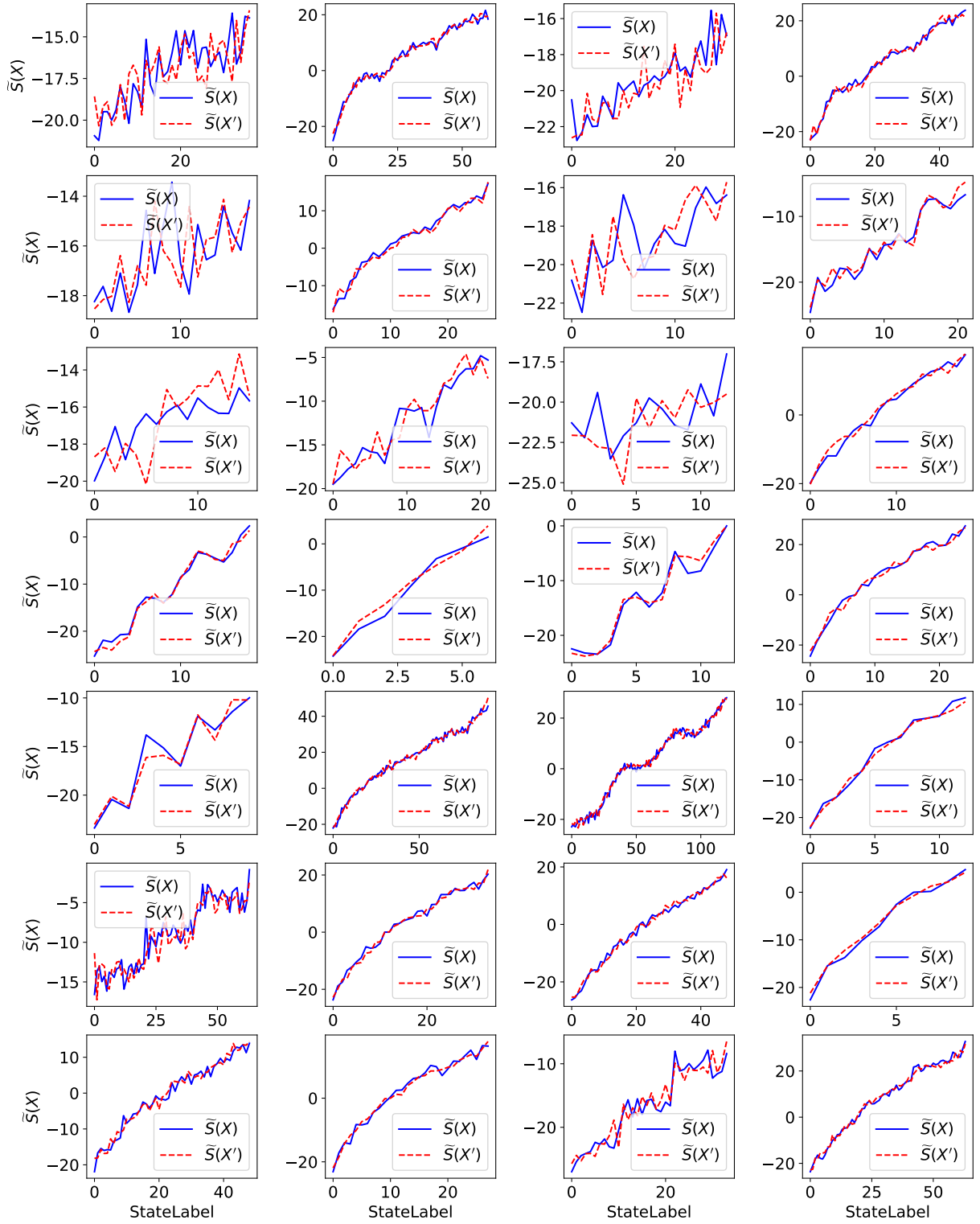


図 33: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が X とマクロ変数が同じ状態の画像 X' の $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

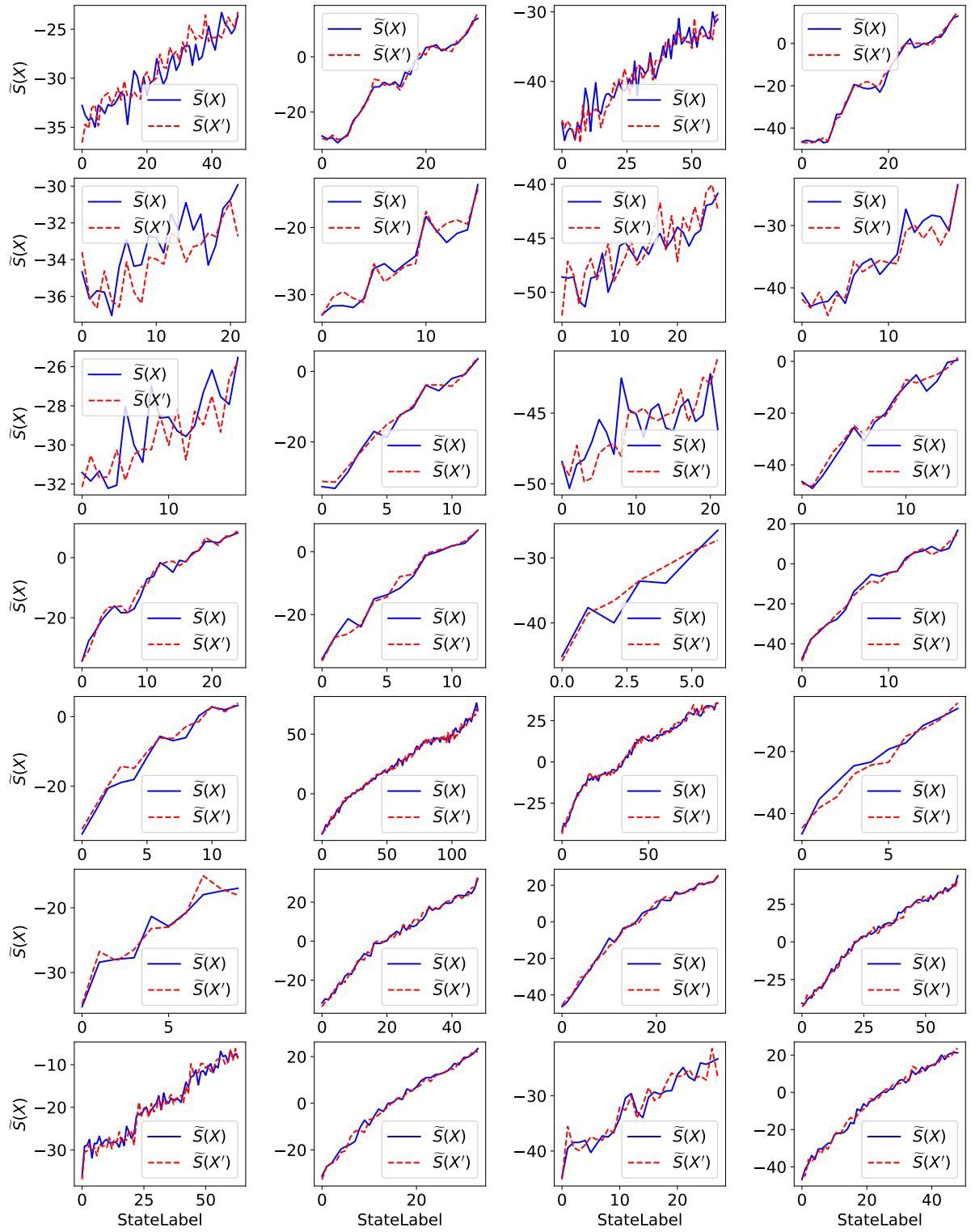


図 34: 公理 1, 反射律のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が $\tilde{S}(X)$ で赤破線が X とマクロ変数が同じ状態の画像 X' の $\tilde{S}(X')$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}(X')$ であることがわかる.

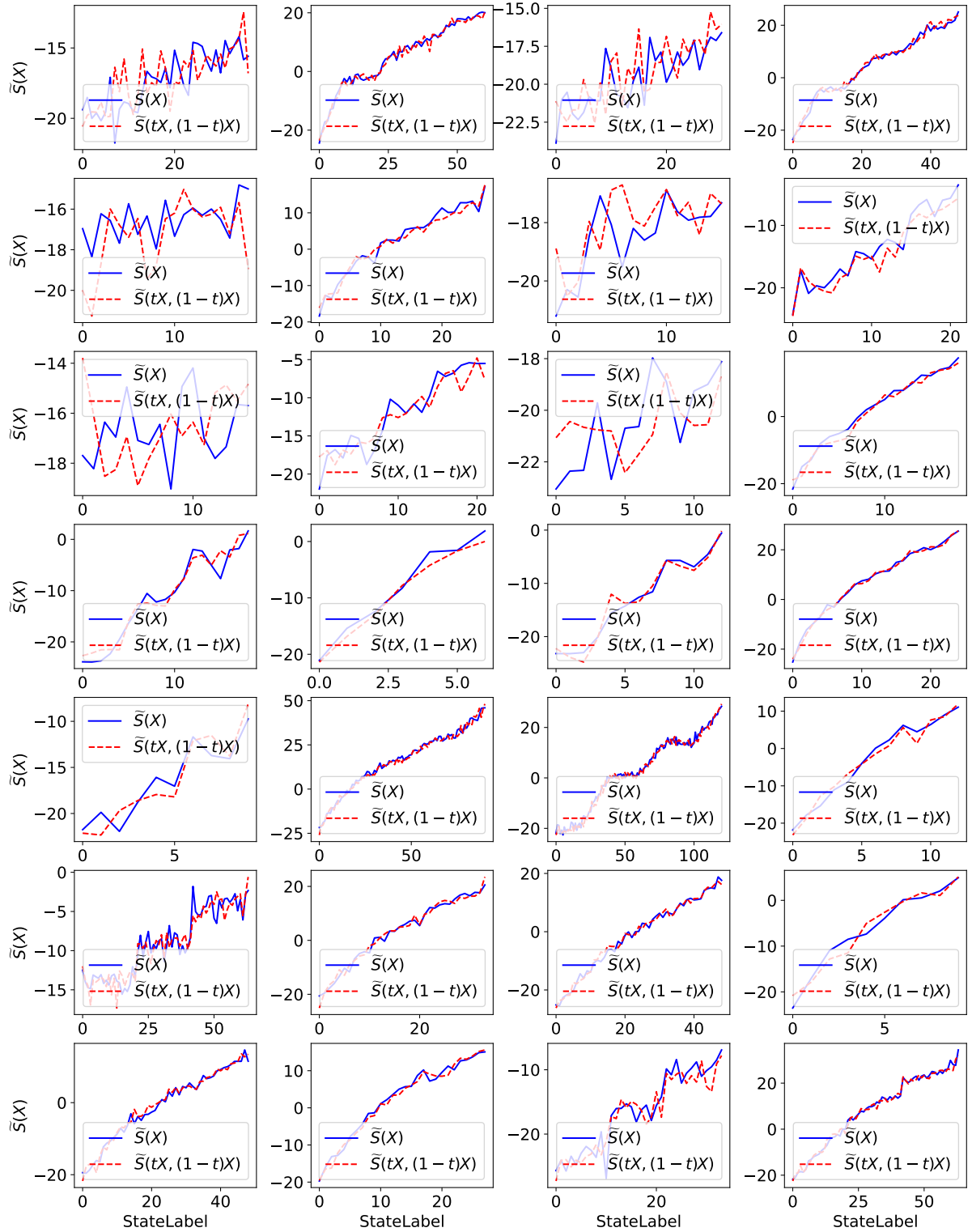


図 35: 公理 5, 分割性, 結合性のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が仕切りを入れる前の画像の $\tilde{S}(X)$ で赤破線が仕切りを入れた後の画像の $\tilde{S}((1-t)X, tX)$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 500, 1000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}((1-t)X, tX)$ であることがわかる.

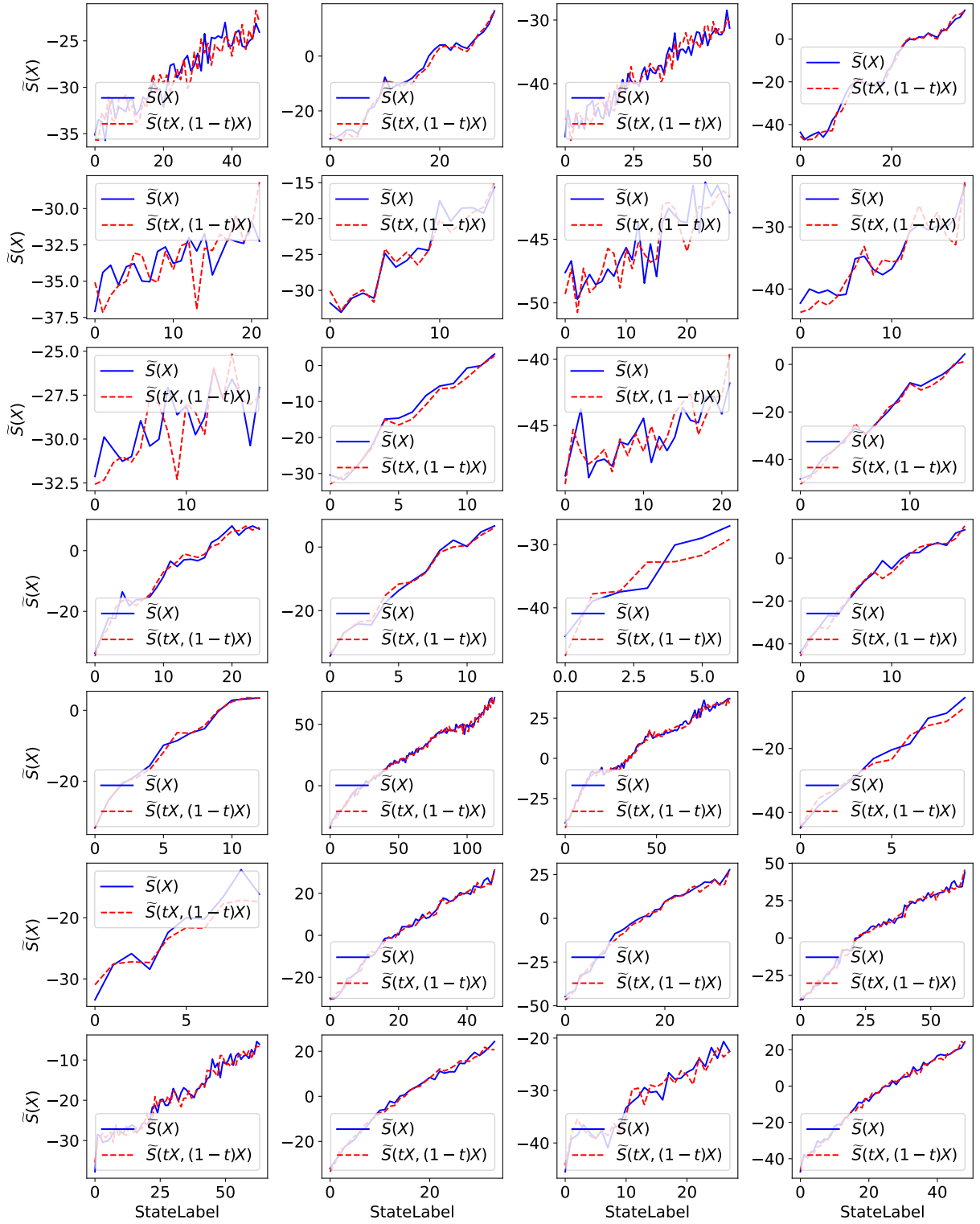


図 36: 公理 5, 分割性, 結合性のすべてのシミュレーションの結果. 縦軸に $\tilde{S}(X)$, 横軸に StateLabel をとったグラフ. 青実線が仕切りを入れる前の画像の $\tilde{S}(X)$ で赤破線が仕切りを入れた後の画像の $\tilde{S}((1-t)X, tX)$. 左から 2 列ずつがそれぞれ $N = 1500, 2000$ の結果. $\tilde{S}(X) \simeq \tilde{S}((1-t)X, tX)$ であることがわかる.